

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Posouzení vlivu konstrukce uzlu  
upevnění výhybky na železniční svršek

Influence of the Rail Switch Design on  
the Railroad Track Ballast

Student:

Bc. Vladimír Huňka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Ostrava 2009



## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO .
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jinému využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňkovy Foltovy, Ph.D. za jeho trpělivost, čas a ochotu poskytnout mi cenné rady a připomínky v celém průběhu vypracovávání diplomové práce.

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HUŇKA, V. Posouzení vlivu konstrukce uzlu upevnění výhybky na železniční svršek. Ostrava: katedra částí a mechanismů strojů, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 77 s. Diplomová práce, vedoucí: Folta, Z.

V této diplomové práci se zabývám vlivem upevnění na železniční svršek. První část diplomové práce je věnována průzkumu používaných systémů upevnění. V další části se zabývám popisem jednotlivých částí, ze kterých se skládají zkušební uzly upevnění. Dále jsem v této práci provedl řadu měření statických a rázových vlastností několika variant uzlu upevnění a provedl jsem srovnání za účelem zjištění jejich vlastností a volby optimální konfigurace. Pro měření jsem provedl přípravu měřicího pražce, která spočívala v instalaci tenzometrů a uložení pražce.

## **ANNOTATION OF THESIS**

HUŇKA, V. Influence of the Rail Switch Design on the Railroad Track Ballast. Ostrava: Department of Machine Parts and Mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 77 p. Thesis, head: Folta, Z.

In this thesis I deal with the influence of rail fastening on ballasted track. First part of this thesis focus on present rail fastening systems. In the next part I deal with the description of the single parts of these rail fastening systems. I further made a series of measurements of static and impact tests of several variants of rail fasteners and I made the comparison to determine their characteristics and to choice optimal configuration. For the measurements needs I prepared measuring sleepers, this work consisted in the installation of strain gauges and sleepers supporting.

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>7</b>
<b>Seznam použitého značení .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
1.1 Popis železniční tratě .....	11
<b>2. Přehled systémů upevnění .....</b>	<b>14</b>
2.1 Upínací systémy bez podkladnice .....	14
2.2 Upínací systémy s podkladnicí .....	15
<b>3. Zkušební uzly upevnění .....</b>	<b>17</b>
3.1 Použité prvky v upevnění .....	17
3.1.1 Kolejnice .....	17
3.1.2 Upevňovací svěrky .....	18
3.1.3 Podkladnice .....	21
3.1.4 Podložky pod kolejnici .....	22
3.1.5 Podložky pod podkladnice .....	24
3.2 Uzly upevnění .....	25
3.2.1 Uzel upevnění U60 .....	25
3.2.2 Uzel upevnění RePo .....	26
3.2.3 Uzel upevnění PoPat .....	27
3.3 Volba referenčních uzlů upevnění .....	28
3.3.1 Volba referenčního uzlu upevnění pro uzel upevnění U60 .....	28
3.3.2 Volba referenčního uzlu upevnění pro uzel upevnění RePo a PoPat .....	29
3.4 Měřené kombinace .....	29
<b>4. Příprava pražce a uložení pražce .....</b>	<b>32</b>
4.1 Příprava pražce .....	32
4.2 Uložení pražce .....	34
<b>5. Princip měření .....</b>	<b>35</b>
5.1 Tenzometry .....	35
5.2 Snímače posuvu .....	36
5.3 Zapojení tenzometrů .....	37
5.4 Tenzometrické měřicí aparatury .....	39

5.4.1 Aparatura M1000 .....	39
5.4.2 Aparatura MGC - Hottinger .....	40
<b>6. Měření útlumu rázového zatížení .....</b>	<b>42</b>
6.1 Metodika provádění měření .....	42
6.2 Výpočet zatěžování pražce při rázovém zatížení .....	45
6.2.1 Výpočet poměrné deformace při mezi pevnost pražce .....	45
6.2.2 Výpočet výšky pádu závaží .....	47
6.3 Výpočet útlumu rázového zatížení .....	49
6.3.1 Referenční uzel upevnění .....	49
6.3.2 Měřený uzel upevnění .....	54
6.4 Zhodnocení měření .....	58
6.4.1 Srovnání uzlů upevnění s uzlem upevnění U60 .....	58
6.4.2 Srovnání uzlů upevnění s uzlem upevnění RePo .....	59
<b>7. Měření statické tuhosti .....</b>	<b>60</b>
7.1 Metodika měření statické tuhosti .....	60
7.2 Výpočet statické tuhosti .....	62
7.3 Zhodnocení měření statické tuhosti .....	66
7.3.1 Srovnání tuhostí podložek .....	66
7.3.2 Srovnání tuhostí uzlů upevnění s podkladnicí U60 .....	67
7.3.3 Srovnání tuhostí uzlů upevnění s podkladnicí RePo .....	68
7.3.4 Srovnání tuhostí uzlů upevnění s podkladnicí PoPat .....	69
<b>8. Pevnostní výpočet .....</b>	<b>70</b>
8.1 Určení okrajových podmínek .....	70
8.2 Zjednodušení výpočtového modelu a zavedení okrajových podmínek .....	71
8.3 Výpočet a vypočtené výsledky .....	73
<b>9. Závěr .....</b>	<b>75</b>
<b>10. Použitá literatura .....</b>	<b>76</b>
<b>11. Seznam příloh .....</b>	<b>77</b>



## Seznam použitého značení

Značka	Jednotka	Popis	Značka	Jednotka	Popis
$\alpha$	[°]	úhel profilu závitů	$k$	[-]	konstanta tenzometru
$\gamma$	[°]	úhel stoupání závitů	$l$	[m]	délka vodiče
$\varepsilon$	[-]	poměrné prodloužení	$n$	[-]	počet aktivních tenzometrů
$\varepsilon_i$	[%]	poměrné stlačení pro vybrané hodnoty zatížení	$p$	[-]	konstanta podle odporu tenzometru
$\varepsilon_{pcb}$	[%]	poměrná deformace v dolní poloze pro měřený uzel upev.	$r$	[mm]	rádius horní hrany pražce
$\varepsilon_{pct}$	[%]	poměrná deformace v horní poloze pro měřený uzel upev.	$A$	[V]	cejch aparatury
$\varepsilon_{pcrb}$	[%]	poměrná deformace v dolní poloze pro ref. uzel upev.	$B$	[mm]	šířka pražce u dolní hrany
$\varepsilon_{pcrt}$	[%]	poměrná deformace v horní poloze pro ref. uzel upev.	$B'$	[mm]	šířka pražce u dolní hrany
$\varepsilon_{HVT80}$	[%]	poměrná deformace při 80% meze pražce	$C$	[mV/V]	citlivost aparatury
$\rho$	[Ω.m]	měrný odpor	$C_{Si/j}$	[kN/mm]	sečná statická tuhost
$\sigma_{OHVT}$	[MPa]	mez pevnosti pražce v ohybu	$C_{SOi}$	[kN/mm]	okamžitá statická tuhost
$\sigma_{OHVT80}$	[MPa]	mez pevnosti pražce v ohybu při 80%	$D_2$	[mm]	střední průměr závitů
$\varphi'$	[°]	třecí úhel	$D_K$	[mm]	třecí průměr pod maticí
$a$	[%]	výsledný útlum rázu	$E_{bo}$	[MPa]	základní modul pružnosti betonu
$a_b$	[%]	útlum rázu v dolní poloze pro měřený uzel upev.	$F_O$	[N]	osová síla ve šroubu
$a_t$	[%]	útlum rázu v horní poloze pro měřený uzel upev.	$F_V$	[kN]	síla od projíždějícího vlaku
$f_K$	[-]	součinitel tření pod maticí	$H$	[mm]	výška pražce
$f_Z$	[-]	součinitel tření na závitě	$H_P$	[mm]	výška pádu závaží
$\Delta h_i$	[mm]	deformace pro vybrané hodnoty zatížení	$L$	[mm]	délka pražce
$\Delta h_{ij}$	[mm]	stlačení mezi vybranými stupni zatížení	$M_{HVT}$	[kNm]	moment při vzniku trhliny na hlavě pražce
$h_P$	[mm]	Tloušťka nezatížené podložky	$M_{HUN}$	[kNm]	moment únosnosti na hlavě pražce

Značka	Jednotka	Popis	Značka	Jednotka	Popis
$M_{SVT}$	$[kNm]$	moment při vzniku trhliny ve středu pražce	$R$	$[\Omega]$	elektrický odpor
$M_{SÚN}$	$[kNm]$	moment únosnosti ve středu pražce	$S$	$[m^2]$	průřez vodiče
$M_U$	$[Nm]$	utahovací moment	$U_m$	$[V]$	měřicí napětí
$P$	$[kN]$	zatížení	$U_n$	$[V]$	napájecí napětí
$P_h$	$[mm]$	stoupání závitu	$W_O$	$[mm^3]$	průřezový modul v ohybu

# 1. Úvod

V diplomové práci se zabývám provedením průzkumu používaných systémů upevnění, jejich zhodnocení. Dále se zabývám, jakým způsobem ovlivňuje konstrukce uzlu upevnění železniční svršek.

Cíle diplomové práce

- provedení průzkumu používaných systémů upevnění
- provedení měření zvolených uzlů upevnění
- srovnání naměřených vlastností jednotlivých uzlů upevnění

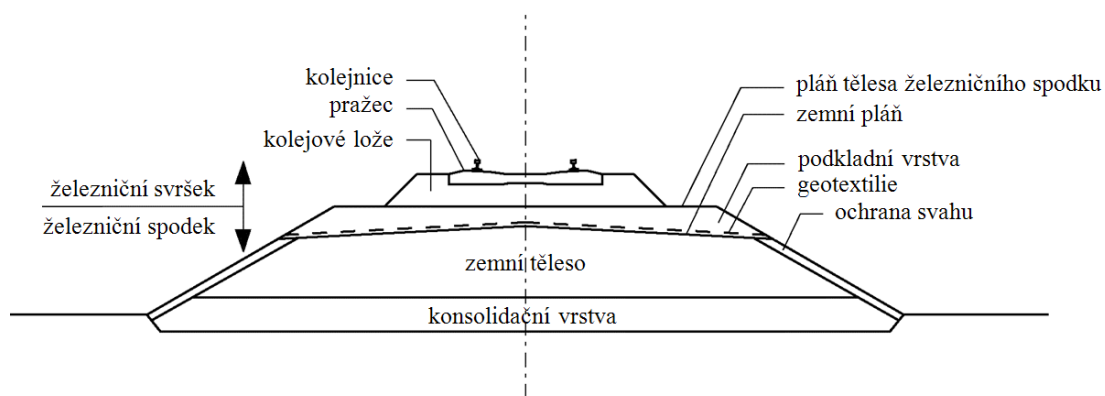
## 1.1 Popis železniční tratě

Pro správnou orientaci v této diplomové práci nejprve objasním jednotlivé části železniční tratě.

**Železniční trať** (obr.1.1) se skládá ze dvou základních částí a to železničního spodku a železničního svršku. Obě tyto části plní své specifické funkce v železniční trati.

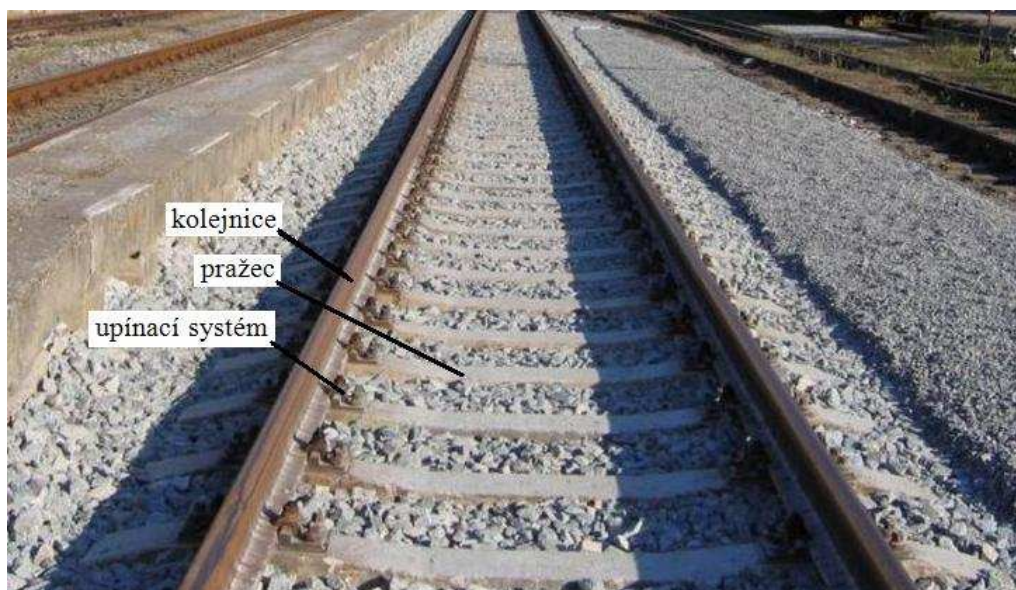
**Železniční spodek** musí splňovat funkci nesení železničního svršku. Základní složkou železničního spodku je zemní těleso, obvykle doplněné konstrukční vrstvou ze štěrkopísku. Pro zvýšení stability může být do náspu nebo mezi zemní těleso a konstrukční vrstvu přidána geotextilie nebo jiný geosyntetický materiál. Konstrukční vrstva může být zpevněna cementovou nebo vápennou stabilizací. Do železničního spodku patří násep, zářez, ale i propustky, opěrná zeď a zárubní zdi a odvodnění, ale také mosty, tunely a galerie. Hranicí mezi železničním spodem a železničním svrškem je plášť tělesa železničního spodku.

**Železniční svršek** tvoří jízdní dráhu, která vozidlo nese a vede. Základní součásti železničního svršku jsou koleje, výhybky, uzly upevnění a kolejové lože. Železniční svršek je uložen na pláni tělesa železničního spodku. Pokud železniční svršek nemá kolejové lože, jedná se o pevnou jízdní dráhu.



*Obr.1.1 Řez železniční tratí*

**Kolej** neboli volná trať je součást železničního svršku. Obvykle se skládá ze dvou kolejnic, které jsou od sebe vzdáleny o stanovený rozchod a upevněny pomocí uzlů na pražcích nebo na podkladovém panelu či desce.

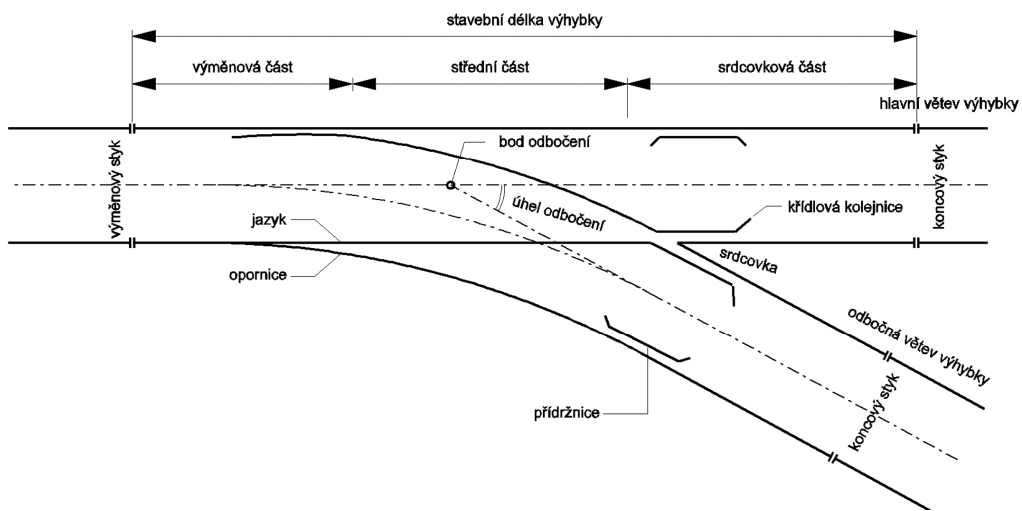


*Obr.1.2 Koleje “Volná trať”*

**Výhybka** je místo železničního svršku, kde se jedna kolej dělí na dvě, nebo dvě koleje sbíhají v jednu. Umožňuje jízdu vlaku do příslušného směru. Skládá se ze tří základních částí a to výměny, střední srdcovkové části. Tyto části se dále skládají z různých součástí viz. obr.1.4.



Obr.1.3 Výchybka



Obr.1.4 Schéma výchybka

**Uzel upevnění** má za úkol upevnit kolejnici k pražci. K tomu se používají různé systémy upevnění. Uzly upevnění, které se v současné době používají, jsou uvedeny v následující kapitole.

## 2. Přehled systémů upevnění

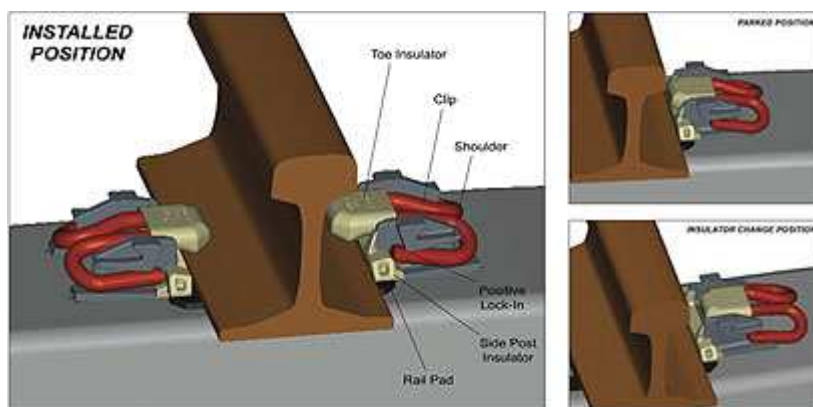
Jak již bylo řečeno, systémy upevnění se používají k připevnění kolejnice k pražci. V současné době převažují dva základní typy systémů upevnění, a to upínací systém bez podkladnice a upínací systém s podkladnicí.

### 2.1 Upínací systémy bez podkladnice

U tohoto upínacího systému je kolejnice přímo připojena k pražci pomocí upínacích svěrek. Tyto upínací systémy se převážně používají pro připevnění kolejnice k pražci ve volné trati. V současné době se nejčastěji používají bezpodkladnicové systémy od dvou firem a to od firmy PANDROL systém FastClip a od firmy VOSSLOH systém W14.

#### Systém upevnění FastClip

Tento upínací systém neobsahuje žádné závitové části, což má za následek urychlení montáže. Další velkou výhodou je, že po namontování nevyžaduje žádnou údržbu.



*Obr.2.1 Schéma systém upevnění FastClip*



*Obr.2.2 Systém upevnění FastClip*

## **Systém upevnění W14**

Tento systém upevnění se vyznačuje svou vysokou spolehlivostí a bezpečností.

Nevýhodou oproti systému FastClip je jeho náročnější montáž.



*Obr.2.3 Systém upevnění W14*

## **2.2 Upínací systémy s podkladnicí**

V tomto upínacím systému je kolejnice připevněna k podkladnici a až tento celek je připevněn k pražci. Tyto upínací systémy se mohou používat jak ve volné trati, tak i ve výhybkách. V dnešní době se převážně používají ve výhybkách.

Tyto systémy upevnění můžeme dále rozdělit na:

- pevné
- pružné
- vertikálně pohyblivé

### **Pevné**

Tyto systémy se vyznačují svojí velkou tuhostí, což má za následek velký degradační účinek na kolejové lože. Z toho důvodu se již do nových úseků tratí nemontují. Typickým představitelem tohoto systému upevnění je upínací systém U60 s upínací svěrkou ŽS4 obr.3.16.

### **Pružné**

Tyto systémy upevnění se velice podobají pevným. Rozdíl je v použití upínacích svěrek. Nejčastěji se používají pružné svěrky Skl 12 a Skl 24 od firmy VOSSLOH. Výhodou těchto pružných upevnění je snížení namáhání kolejového



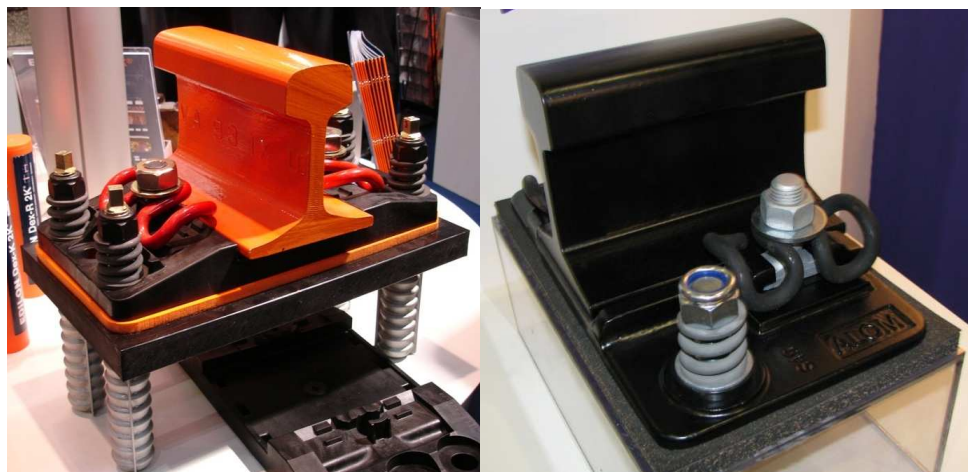
lože a plynulejší jízda. Nevýhoda těchto upevnění je že se musí provádět jejich pravidelná údržba.



*Obr.2.4 Pružný systém upevnění*

### **Vertikálně pohyblivé**

Jedná se o systémy upevnění, které umožňují vertikální posuv kolejnice v rozmezí několika milimetrů. Což má za následek, že se kolejnice při průjezdu vlaku vertikálně pohybuje, tím zamezuje vertikálnímu pohybu pražce a nedochází k degradačnímu procesu kolejového lože. Tyto systémy upevnění ještě nejsou velmi rozšířené. Jejich nevýhodou je velká cena.



*Obr.2.5 Vertikálně pohyblivé systém upevnění*



### 3. Uzel upevnění

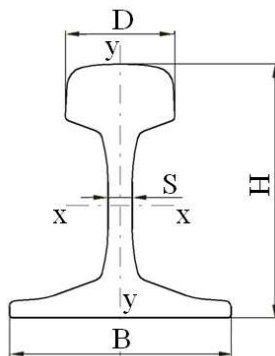
Uzel opevnění je soustava částí, které přidržují kolejnici k pražci. Jeho funkce je udržovat kolejnici v místě v rámci povolených úchylek polohy a zároveň umožňuje snížit přenos dynamických účinků kola na kolejový svršek.

#### 3.1 Použité prvky v upevnění

Jedná se o části, ze kterých je složen uzel upevnění.

##### 3.1.1 Kolejnice

Z důvodu, že se jedná o koridorové výhybky, které používají kolejnici profilu 60E1 použijí kolejnici 60E1.



Obr.3.1 Umístění tenzometrických snímačů

tabulka 3.1 Rozměry kolejnice 60E1

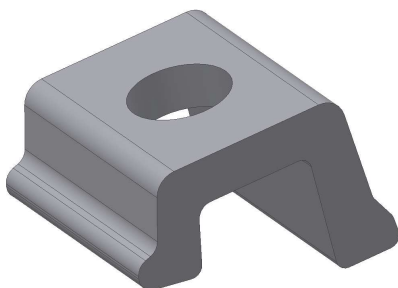
Označení	Výška kolejnice	Šířka paty	Šířka hlavy	Tloušťka stojiny
60E1	$H [mm]$	$B [mm]$	$D [mm]$	$S [mm]$
	172	150	74,3	16,5
	Hmotnost	Průřezová plocha	Moment setrvačnosti	Modul průřezu
	$G [kg/m]$	$S [cm^2]$	$J_x [cm^4]$	$W_x [cm^3]$
	60,21	76,7	3 038,3	333,6

### 3.1.2 Upevňovací svěrky

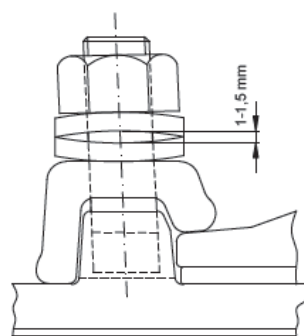
Upevňovací svěrky se používají pro uchycení kolejnice k podkladnici. V praxi se používá velké množství těchto svěrek, liší se svým tvarem a použitým materiálem. Dále se ještě liší místem, kde jsou v trati použity. Při měření v této diplomové práci jsem použil 3 druhy upevňovacích svěrek a to svěrky ŽS4, Skl 12 a Skl 24.

#### Upevňovací svěrka ŽS4

Jedná se o nepružnou svěrku, která je k podkladnici připevněna pomocí svérkového šroubu M24, dvojitého pružného kroužku Fe6 a matice M24. Nevýhodou této svěrky je, že se musí pravidelně dotahovat.



Obr.3.2 Upevňovací svěrka ŽS4



Obr.3.3 Schéma upevnění kolejnice pomocí svěrky ŽS4

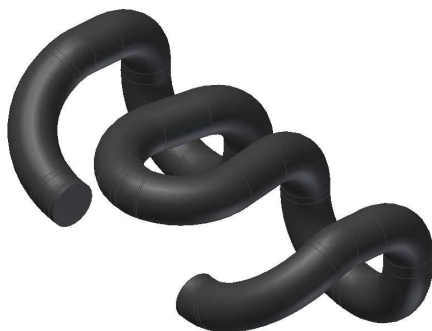
tabulka 3.2 Upevnění kolejnice pomocí svěrky ŽS4

Způsob montáže		a) Zatáčečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč
Požadovaný stav po montáži		Mezera mezi vyklenutím spirály dvojitého pružného kroužku 1 – 1,5mm
Hodnota utahovacího momentu	doporučená	180 – 220Nm
	limitní	min. 180Nm
Kontrola správnosti montáže		Plochou měrkou Momentovým klíčem
Poznámka		Závit svérkového šroubu musí být před montáží ošetřen předepsaným mazacím prostředkem*

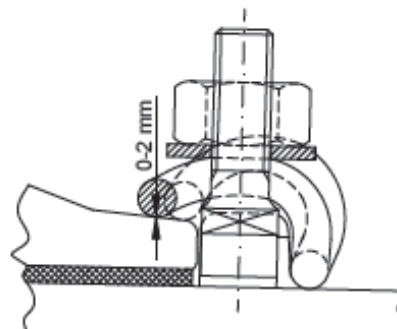
\* mazací prostředek předepisuje výrobce

### Upevňovací svěrka Skl 12

Jedná se o pružnou svěrku. Výhodou této svěrky je snížení přitlačného tlaku, plynulejší jízdy a menšího opotřebení kolejového svršku. Další výhodou je značné prodloužení intervalu kontroly upevnění. Nevýhodou je však její vyšší cena.



Obr.3.4 Upevňovací svěrka Skl 12



Obr.3.5 Schéma upevnění kolejnice pomocí svěrky Skl 12

tabulka 3.3 Upevnění kolejnice pomocí svěrky Skl 12

Způsob montáže		a) Zatáčečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč
Požadovaný stav po montáži		Mezera mezi středním ramenem svěrky a horním povrchem paty kolejnice 0 – 2mm
Hodnota utahovacího momentu	doporučená	180 – 220Nm
	limitní	max. 250Nm
Kontrola správnosti montáže		Plochou měrkou Momentovým klíčem
Poznámka		Závit svěrkového šroubu musí být před montáží ošetřen předepsaným mazacím prostředkem*

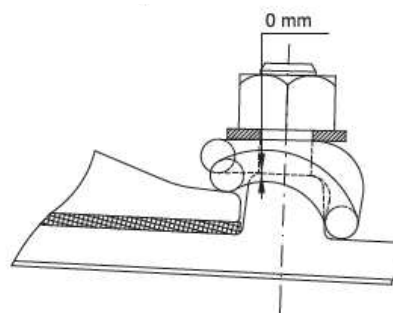
\* mazací prostředek předepisuje výrobce

### Upevňovací svěrka Skl 24

Jedná se rovněž o pružnou svěrku. V mnoha ohledech je shodná se svěrkou Skl 12. Liší se svým tvarem, ale funkce má stejné. Z toho vyplívají stejné výhody i nevýhody.



Obr.3.6 Upevňovací svěrka Skl 24



Obr.3.7 Schéma upevnění kolejnice pomocí svěrky Skl 24

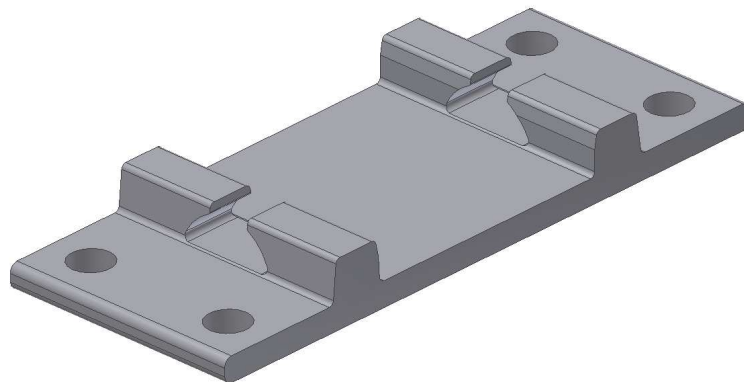
tabulka 3.4 Upevnění kolejnice pomocí svěrky Skl 24

Způsob montáže		a) Zatačečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč
Požadovaný stav po montáži		Dosednutí středního ramene svěrky na žebro podkladnice
Hodnota utahovacího momentu	doporučená  limitní	180 – 220Nm  max. 250Nm
Kontrola správnosti montáže		Plochou měrkou Momentovým klíčem
Poznámka		Závit svěrkového šroubu musí být před montáží ošetřen předepsaným mazacím prostředkem*

\* mazací prostředek předepisuje výrobce

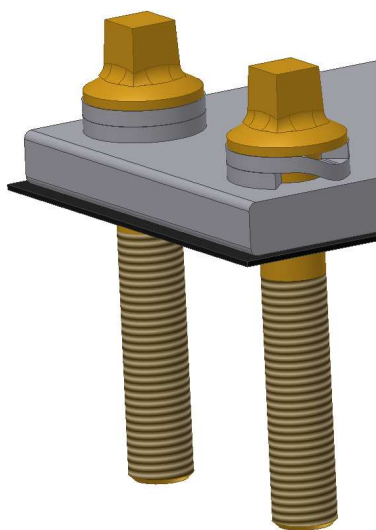
### 3.1.3 Podkladnice

Prvotním úkolem podkladnice je zvětšit kontaktní plochu mezi kolejnicí a pražcem, aby se snížil tlak ve stykové ploše, což vede k prodloužení životnosti pražců. Podkladnice je k pražci připevněna pomocí pražcového šroubu (vrtule) a dvojitého pružného kroužku. (obr.3.9 a obr.3.10)

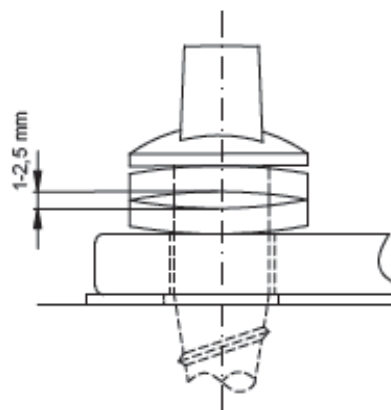


*Obr.3.8 Podkladnice U60*

Předpis pro připevnění podkladnice k pražci



*Obr.3.9 Připevnění podkladnice  
pražcovým šroubem*



*Obr.3.10 Schéma upevnění  
podkladnice k pražci*

tabulka 3.5 Upevnění podkladnice k pražci

Druh pražce		Betonový pražec s hmoždinkami z PE, PA nebo PA 30SV	Dřevěný pražec
Způsob montáže		a) Zatáčečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč	a) Zatáčečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč
Požadovaný stav po montáži		Mezera mezi vyklenutím spirály dvojitého pružného kroužku 1 – 2,5mm	Mezera mezi vyklenutím spirály dvojitého pružného kroužku 1 – 2,5mm
Hodnota utahovacího momentu	<i>doporučená</i>	180 – 220Nm	280 – 350Nm
	<i>limitní</i>	min. 180Nm	–
Kontrola správnosti montáže		Plochou měrkou Momentovým klíčem	Plochou měrkou
Poznámka		Závit svěrkového šroubu musí být před montáží ošetřen předepsaným mazacím prostředkem	Platí pro první zatočení vrtule do předvrtaného otvoru $\varnothing 16mm$ . Vrtule musí být před montáží ošetřena předepsaným mazacím prostředkem*.

\* *mazací prostředek předepisuje výrobce*

### 3.1.4 Podložky pod kolejnici

Tyto podložky se vkládají mezi kolejnici a podkladnici. Jsou vyrobeny z různých materiálů a s různým dezénem. V této diplomové práci jsem použil dvě podložky pod kolejnici a to podložku R65 a Zw 661.

### **Podložka pod kolejnici R65**

Jedná se o podložku vyrobenou z pryže. Tato podložka se v současné době montuje do výhybek.



*Obr.3.11 Podložka pod kolejnici R65*

### **Podložka pod kolejnici R65 provozně zatížená**

Jedná se o podložku R65 která byla namontována ve výhybce. Na podložce jsou patrné poškození, která byla způsobena provozem.



*Obr.3.12 Podložka pod kolejnici R65 provozně zatížená*

### **Podložka pod kolejnici Zw 661**

Jde o podložku vyrobenou z materiálu E/VA (etylen/vinylacetát). Tato podložka se používá jako srovnávací podložka pro zkoušku útlumu rázu. Má za úkol, aby referenční (srovnávací) uzel upevnění byl co nejtužší a měl co nejmenší schopnost útlumu rázu.



*Obr.3.13 Podložka pod kolejnici Zw 661*

### **3.1.5 Podložky pod podkladnice**

Tyto podložky se vkládají mezi podkladnici a pražec. Mají za úkol snížit tlak, který vzniká při utažení podkladnice k pražci.

#### **Podložka pod podkladnici PENEFOL 900**

Tato podložka je vyrobena z materiálu polyetylen. Používá se běžně ve výhybkách.



*Obr.3.14 Podložka pod podkladnici PENEFOL 900*



### **Podložka pod podkladnici EVA**

Podložka EVA je vyrobena z pryže. Do výhybek, které jsou v ČR se tyto podložky nemontují. Byly montovány do výhybek, které se vyráběly pro řecké dráhy.



*Obr.3.15 Podložka pod podkladnici EVA*

## **3.2 Použité uzly upevnění**

Zkušební uzly upevnění jsou sestaveny z výše popsaných součástí. V této diplomové práci budu měřit tři základní druhy uzlu upevnění a to:

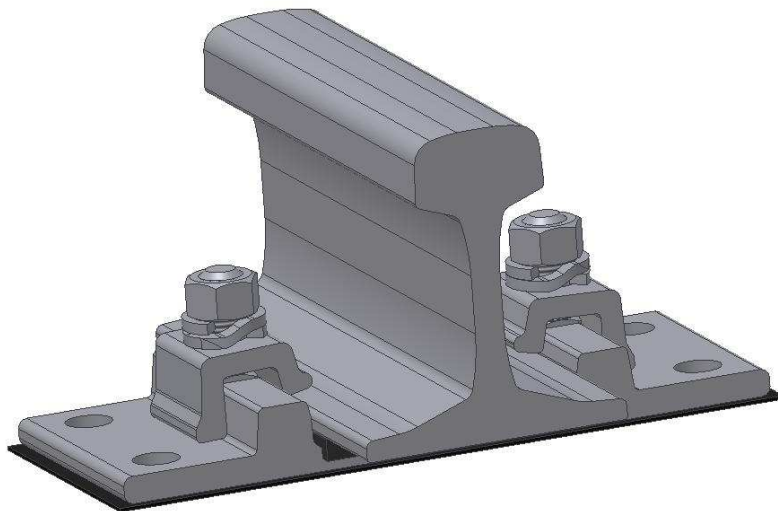
- U60
- RePo
- PoPat

### **3.2.1 Uzel upevnění U60**

Základní uzel upevnění U60 je složen z kolejnice 60E1, podložky pod kolejnici R65 (*obr.3.11*), podkladnice U60 (*obr.3.8*), svěrky ŽS4 (*obr.3.2*) a podložky pod podkladnici PENEFOL 900 (*obr.3.14*).

Tento uzel upevnění se používá ve střední části výhybky, kde se nachází tzv. „pojízdné kolejnice“. Jde o uzel upevnění, který se v současné době běžně používá.

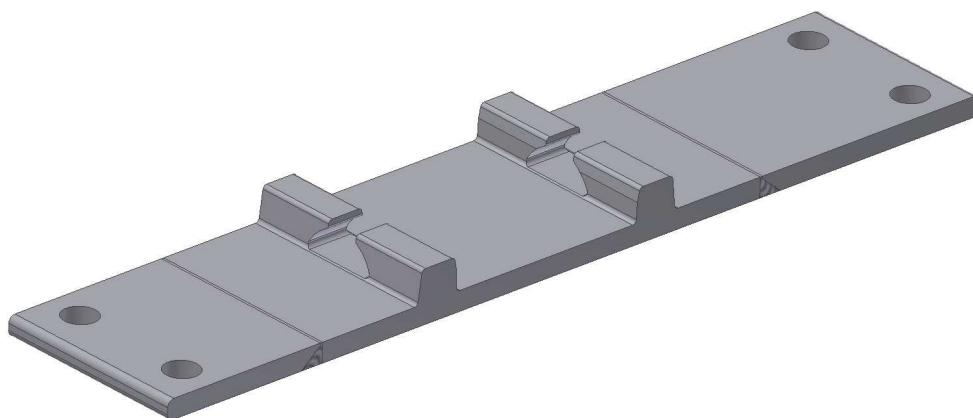
Pro měření v této diplomové práci jsem provedl měření různých kombinací svěrek, podložek pod kolejnicí a pod podkladnicí v tomto uzlu upevnění.



*Obr.3.16 Uzel upevnění U60*

### **3.2.2 Uzel upevnění RePo**

Uzel upevnění RePo je sestaven ze stejných součástí jako uzel upevnění U60 jen místo podkladnice U60 je zde použita podkladnice svařená (*obr.3.17*).

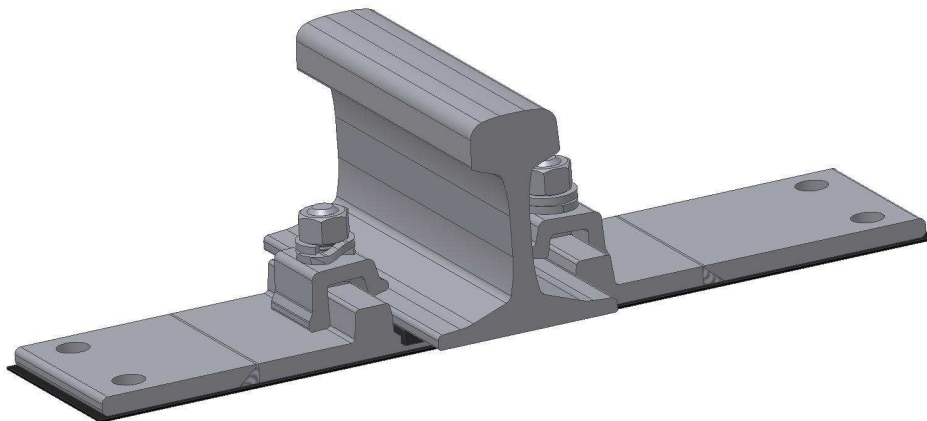


*Obr.3.17 Podkladnice svařená*

Tato podkladnice se ve výhybce nevykytuje, ale je sestrojena tak aby přesně napodobovala chování podkladnici pod srdcovkou.

Tento uzel upevnění slouží pouze jako porovnávací uzel upevnění k uzlu upevnění PoPat.

Rovněž u tohoto upevnění jsem provedl měření při různých kombinacích svěrek a podložek pod kolejnicí.



*Obr.3.18 Uzel upevnění RePo*

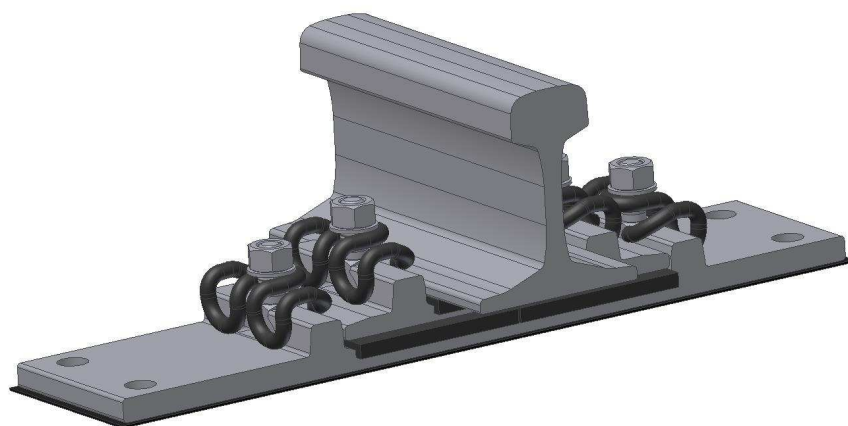
### **3.2.3 Uzel upevnění PoPat**

Jedná se nové provedení uzlu upevnění srdcovky od firmy DT Prostějov. Jsou použity dvě podkladnice (*patrové uspořádání*) a mezi tyto dvě podkladnice se vloží podložka pod kolejnici R65. Což bude mít za následek snížení tuhosti a zvýšení schopnosti útlumu zatížení. Výhodou tohoto upevnění je zvýšení pružnosti uzlu upevnění aniž by došlo k překročení povolených úchylek polohy koleje, zejména rozchodu.

Tento uzel upevnění PoPat se skládá z více částí než předchozí uzly upevnění. A ty jsou:

- Kolejnice 60E1
- Podložka pod kolejnicí R65
- Podkladnice svařená spodní
- Podkladnice U60 upravená
- Svěrka Skl 12 a Skl 24
- Podložka pod podkladnici PENEFOL 900

Při měření tohoto uzlu upevnění jsem rovněž provedl měření při různých kombinacích svěrek a podložek pod kolejnicí.



*Obr.3.19 Uzel upevnění PoPat*

### **3.3 Volba referenčních uzlů upevnění**

Volba správného referenčního upevnění je velmi důležitá z důvodu, že pokud zvolím špatné referenční (*porovnávací*) upevnění může dojít ke zkreslení výsledků.

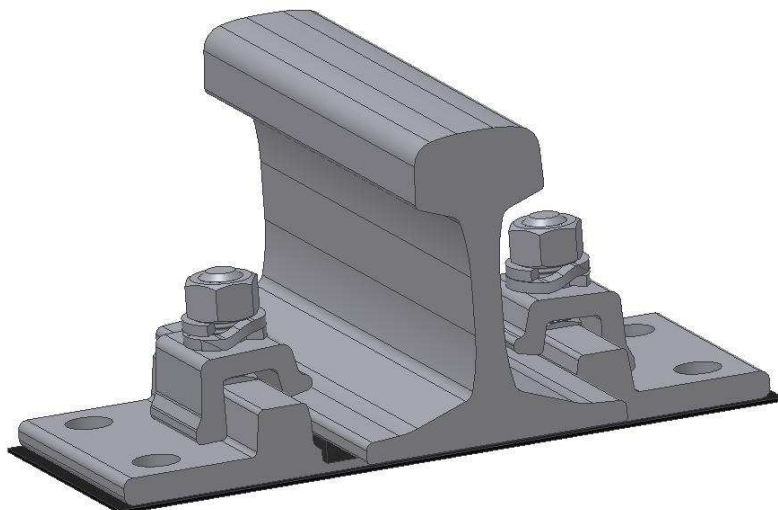
Referenční uzel upevnění by měl být co možná nejtuzší. Čehož se dosáhne, použitím nejtvrdší podložky pod kolejnicí a podkladnicí a svěrky, které nedovolují žádné pružení.

Volím dva referenční uzly upevnění jeden pro uzel upevnění U60 a druhý pro uzly upevnění RePo a PoPat.

Zvolil jsem dva referenční uzly upevnění z toho důvodu, že upevnění U60 se používá ve střední části výhybky pro uchycení pojezdových kolejnic, zatímco uzly upevnění RePo a PoPat jsou určeny pro srdcovkovou část výhybky pro uchycení srdcovky.

#### **3.3.1 Volba referenčního uzlu upevnění pro uzel upevnění U60**

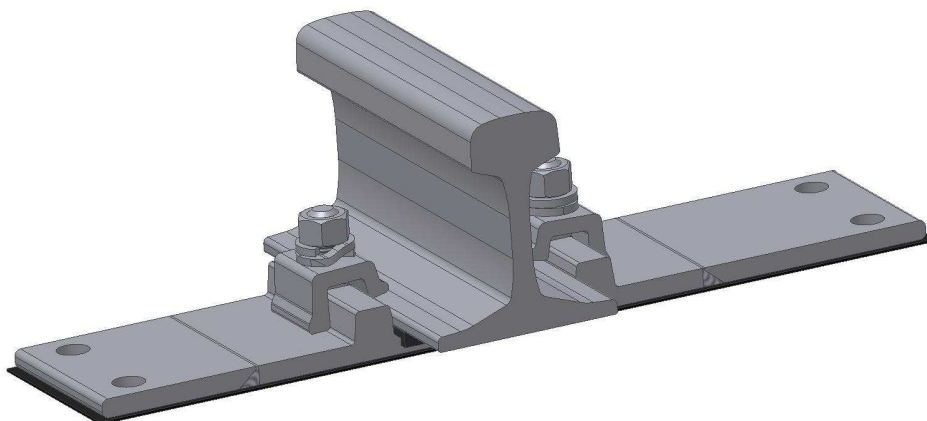
Jedná se o uzel upevnění, ke kterému budu porovnávat ostatní kombinace svěrek, podložek pod kolejnicí a pod podkladnicí. Jako referenční uzel upevnění jsem zvolil uzel upevnění s podkladnicí U60 (*obr.3.8*), který obsahuje podložku pod kolejnicí Zw 661 (*obr.3.13*), podložku pod podkladnicí PENEFOL 900 (*obr.3.14*) a jako upínací svěrku jsem zvolil svěrku ŽS4 (*obr.3.2*).



*Obr.3.20 Referenční uzel upevnění U60 pro uzel upevnění U60*

### **3.3.2 Volba referenčního uzlu upevnění pro uzly upevnění RePo a PoPat**

Tento uzel upevnění je složen stejně jako referenční uzel upevnění U60 z podložky pod kolejnici Zw 661 (*obr.3.13*), podložky pod podkladnici PENEFOIL 900 (*obr.3.14*) a svěrku ŽS4 (*obr.3.2*). Jako podkladnici jsem zvolil podkladnici svařenou (*obr.3.17*).



*Obr.3.21 Referenční uzel upevnění RePo pro uzel upevnění RePo a PoPat*

### **3.4 Měřené kombinace**

Pro jednodušší orientaci v měření útlumu rázu a statické tuhosti jednotlivých uzlů upevnění s kombinací svěrek, podložek pod kolejnici a pod podkladnici jsem

sestrožil dvě tabulky, ve kterých je každé měřené kombinaci uděleno číslo. To zajistí jednoduší orientaci v měření.

*tabulka 3.6 Měřené kombinace upevnění – útlum rázu*

Měření útlumu rázu													
Měřený uzel upevnění		Kombinace											
Číslo uzlu upevnění	Číslo protokolu	Kolejnice	Svěrka			Podložka pod kolejnici			Podkladnice			Podložka pod podkladnici	
		60E1	ŽS4	Skl 12	Skl 24	Zw 661	R65	R65 def.	U60	RePo	PoPat	PENEFOL 900	EVA
1.	UT1R	•	•			•			•			•	
2.	UT2R	•	•			•				•		•	
3.	UT1	•	•				•		•			•	
4.	UT2	•		•			•		•			•	
5.	UT3	•			•		•		•			•	
6.	UT4	•	•				•		•				•
7.	UT5	•		•			•		•				•
8.	UT6	•			•		•		•				•
9.	UT7	•	•				•			•		•	
10.	UT8	•	•					•		•		•	
11.	UT9	•		•			•			•		•	
12.	UT10	•		•				•		•		•	
13.	UT11	•			•		•			•		•	
14.	UT12	•			•			•		•		•	
15.	UT13	•		•		•				•		•	
16.	UT14	•			•	•				•		•	
17.	UT15	•	•				•				•	•	
18.	UT16	•	•					•			•	•	
19.	UT17	•		•			•				•	•	
20.	UT18	•		•				•			•	•	
21.	UT19	•			•		•				•	•	
22.	UT20	•			•			•			•	•	

S referenčním uzlem upevnění U60 (č.1) budu porovnávat upevnění 3 až 8.

S referenčním uzlem upevnění pro RePo a PoPat (č.2) budu porovnávat upevnění 9 až 22.

tabulka 3.7 Měřené kombinace upevnění – statická tuhost

Měření statické tuhosti podložek a uzlu upevnění													
Měřený uzel upevnění		Kombinace											
Číslo měření	Číslo protokolu	Kolejnice	Svěrka			Podložka pod kolejnici			Podkladnice			Podložka pod podkladnici	
		60E1	ŽS4	Skl 12	Skl 24	Zw 661	R65	R65 def.	U60	RePo	PoPat	PENEFOL 900	EVA
1.	ST1					•							
2.	ST2						•						
3.	ST3							•					
4.	ST4											•	
5.	ST5												•
6.	ST6	•	•			•			•			•	
7.	ST7	•	•				•		•			•	
8.	ST8	•		•			•		•			•	
9.	ST9	•			•		•		•			•	
10.	ST10	•	•				•		•				•
11.	ST11	•		•			•		•				•
12.	ST12	•			•		•		•				•
13.	ST13	•	•			•				•		•	
14.	ST14	•		•		•				•		•	
15.	ST15	•			•	•				•		•	
16.	ST16	•	•				•			•		•	
17.	ST17	•	•					•		•		•	
18.	ST18	•		•			•			•		•	
19.	ST19	•		•				•		•		•	
20.	ST20	•			•		•			•		•	
21.	ST21	•			•			•		•		•	
22.	ST22	•	•				•				•	•	
23.	ST23	•	•					•			•	•	
24.	ST24	•		•			•				•	•	
25.	ST25	•		•				•			•	•	
26.	ST26	•			•		•				•	•	
27.	ST27	•			•			•			•	•	

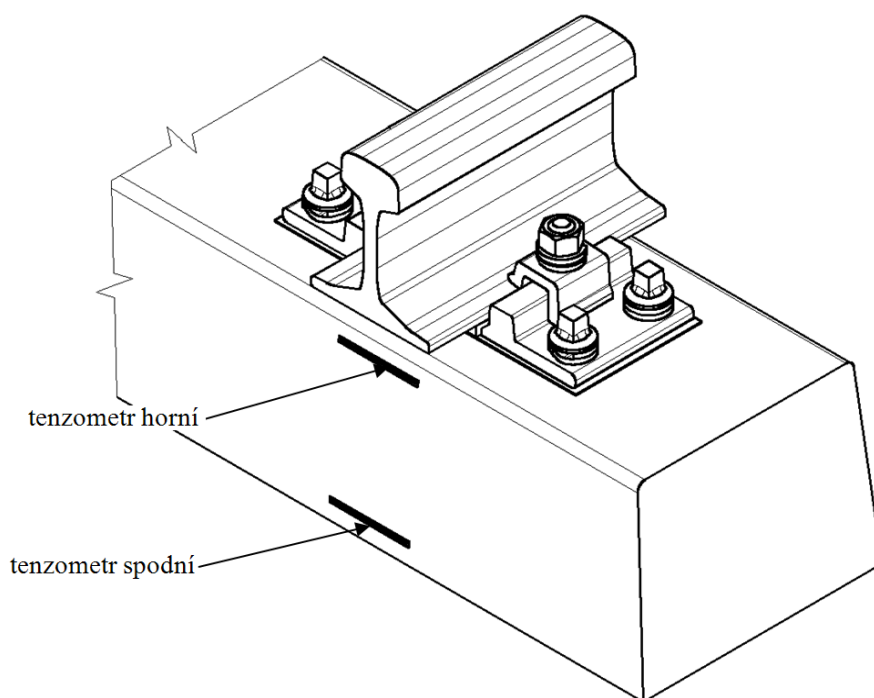
## 4. Příprava pražce a uložení pražce

Před měřením útlumu rázu je potřebné připravit měřící pražec. Prvním bodem je instalace tenzometrických snímačů a jejich připojení k měřící aparatuře. Dalším úkolem je pak předepsané uložení pražce.

### 4.1 Příprava pražce

Příprava pražce pro měření útlumu rázového zatížení spočívá v instalaci tenzometrických snímačů, které měří deformace pražce. Pro měření jsem použil tenzometrické snímače typu LY41-100/120 od výrobce HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH. Tyto použité tenzometrické snímače mají měřící délku 100 mm a odpor 120  $\Omega$ . Pro připevnění tenzometrických snímačů k betonovému pražci jsem použil speciální dvousložkový rychleschnoucí tmel typu X60, který je určen výrobcem pro připevnění tohoto typu tenzometrického snímače. Tento tmel vyrovnává nerovnoměrnosti, které jsou na povrchu betonového pražce. Tím se zajistí spolehlivé spojení a správný přenos deformace z pražce na tenzometrický snímač.

Poloha a umístění tenzometrických snímačů je určena normou [1].



Obr.4.1 Schéma umístění tenzometrických snímačů





*Obr.4.2 Instalace tenzometrů*

Norma [1] předepisuje měření útlumu rázu na dvou místech na boku pražce. Tato místa jsou u horní a dolní hrany pražce.

Dle normy [1] musí být horní tenzometrický snímač umístěn co nejblíže k horní hraně pražce. Z důvodu že horní hrana pražce je zakončena rádiusem R10. Z toho důvodu jsem umístil tenzometrický snímač těsně pod tento rádius. Střed tenzometrického snímače jsem umístil shodně s osou kolejnice.

Spodní tenzometrický snímač se dle normy [1] umísťuje ve vzdálenosti 10 až 25 mm od spodní hrany pražce. Podélnou osu tenzometrického snímače jsem umístil do vzdálenosti 25 mm od spodní hrany pražce, abych se vyhnul nerovnoměrnostem, které na pražci vznikly při jeho výrobě. Střed tenzometrického snímače jsem rovněž umístil shodně s osou kolejnice.

Po zatvrdnutí tenzometrů jsem připojil vodiče a provedl zapojení do polovičního mostu.



*Obr.4.3 Umístění tenzometrických snímačů*

## 4.2 Uložení pražce

Pražec na, kterém jsou nainstalovány tenzometry se uloží do štěrkového lože, které má zrnitost částic 5 až 15 mm. Normou [1] je dána doporučená vrstva štěrku pod pražcem na 270 mm. Přičemž by tato plocha měla být vodorovná. Dále dle technických předpisů pro uložení pražce je dáno, že pražec musí být ze stran obsypán štěrkem do výšky 100 mm.

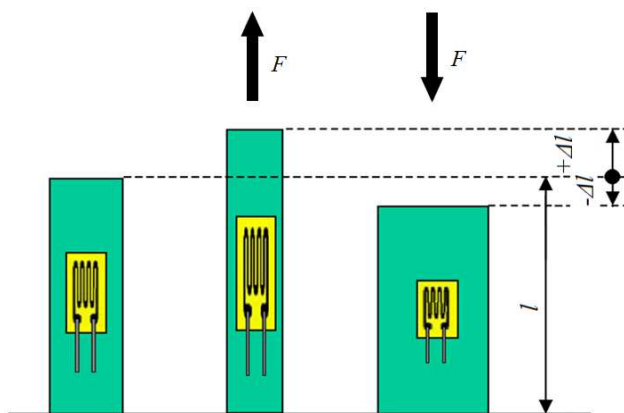


*Obr.4.4 Uložení pražce ve štěrkovém loži*

## 5. Princip měření

### 5.1 Tenzometry

Princip funkce tenzometrických snímačů spočívá ve změně elektrického odporu, která se děje na základě jeho deformace. V praxi to vypadá následovně. Těleso je zatěžováno a tím se deformuje. Do místa kde dochází k deformaci tělesa se připevní tenzometr, který se deformuje shodně jako zatěžované těleso. Tím dochází k prodlužování tenzometru, který takto mění svůj odpor, jež je lineárně úměrný prodloužení na povrchu materiálu.



Obr.5.1 Princip funkce tenzometru

Velikost výchozí hodnoty odporu tenzometrického snímače je dána vztahem

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S} \quad (5.1)$$

kde:

$l$  ... délka vodiče [m]

$\rho$  ... měrný odpor [ $\Omega \cdot m$ ].

$S$  ... průřez vodiče [ $m^2$ ].

Hodnota změny odporu je závislá na:

- prodloužení délky vodiče  $l$  o  $\Delta l$ ;
- změně průřezu vodiče  $S$  o  $\Delta S$ ;
- změně měrného odporu  $\rho$ .

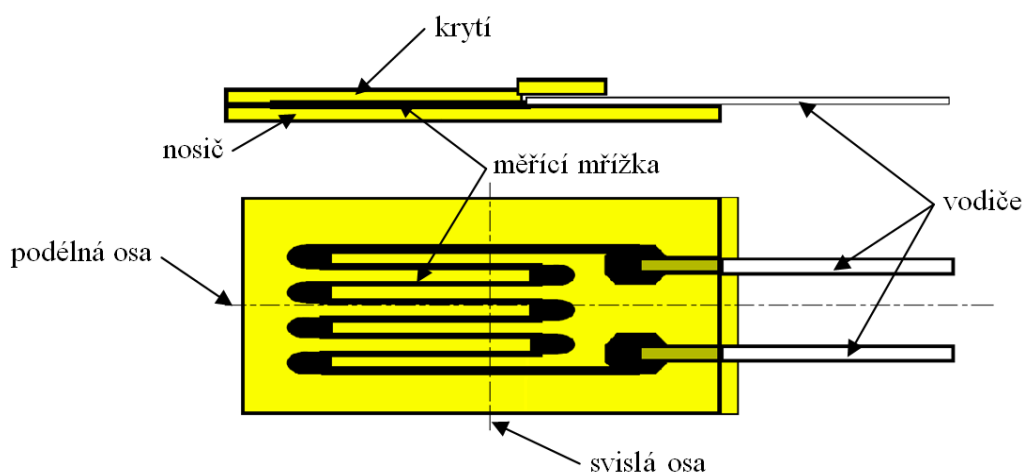
Velikost změny jednotlivých parametrů je obtížně vyjádřitelná, a proto je poměr mezi poměrnou změnou elektrického odporu a poměrným prodloužením dána vztahem

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon \quad (5.2)$$

kde:

$\varepsilon$  ... poměrné prodloužení [-]

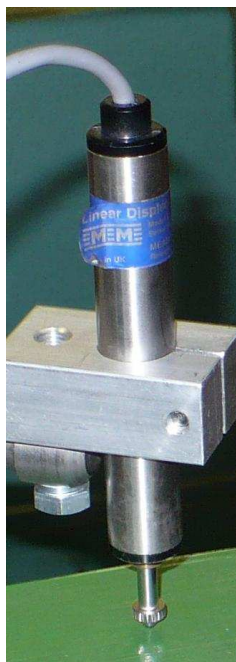
$k$  ... konstanta tenzometru [-], tuto hodnotu udává výrobce tenzometru.



Obr.5.2 Schéma tenzometrického snímače

## 5.2 Snímače posuvu

Pro určení posuvu (u statických charakteristik) jsem použil snímače posuvu typu MG4825 od výrobce HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH. Převodní konstantu napětí – posuv jsem stanovil kalibrací pomocí koncových měrek.



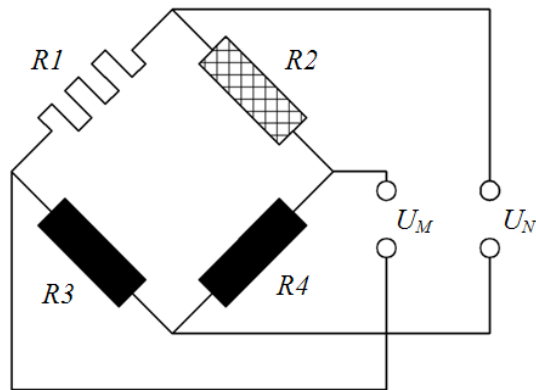
*Obr.5.3 Snímač posuvu*

### **5.3 Zapojení tenzometrů**

Aby se měřilo napětí (deformační síla) s nalepenými tenzometry, musí být připojeny k elektronickému obvodu, jenž je schopen odpovídající změny odporu měřit.

#### **Wheatstoneův můstek**

Převodníky pro tenzometry mají obvykle vstupy pro čtyři tenzometry elektricky spojeny do Wheatstoneova můstku. Je to dělený můstek, používaný pro měření statického i dynamického elektrického odporu. Wheatstoneův můstek je také velmi vhodný pro teplotní kompenzaci. Počet aktivních tenzometrů, které by měly být připojeny do můstku, závisí na aplikaci. Např. může být užitečné připojit tenzometry, které jsou na opačných stranách nosníku, jeden je na kompresní straně (přítlak) a druhý na straně tahu. V tomto uspořádání lze výstupní signál efektivně zdvojnásobit při stejném pnutí. Při instalacích, kde jsou do všech větví můstku zapojeny tenzometry, je teplotní kompenzace automatická, protože změny odporu tenzometrů s teplotou jsou ve všech větvích můstku stejné a vyruší se.



Obr.5.4 Poloviční Wheatstonův most

### Úplný most

Pro měření je tenzometr vždy zapojen do úplného Wheatstonova můstku. V obrázku je  $R_1$  aktivní tenzometr, a tenzometry  $R_2$  až  $R_4$  jsou nalepeny na oddělenou destičku a nemění s deformací měřeného tělesa svou hodnotu.

Výpočet poměrného prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_m}{k \cdot U_n \cdot n} \quad (5.3)$$

kde:

$U_m$  ... měřící napětí [V]

$k$  ... konstanta tenzometru [-]

$U_n$  ... napájecí napětí [V]

$n$  ... počet aktivních tenzometrů [-]

### Poloviční most

Některé tenzometrické aparatury umožňují použití polovičního mostu. Při tomto zapojení jsou tenzometry  $R_3$  a  $R_4$  nahrazeny příslušnými, teplotně stabilními odpory zabudovanými v aparatuře. Výpočet hodnoty poměrného prodloužení je stejný jako u úplného mostu.

## 5.4 Tenzometrické měřicí aparatury

V praxi se pro zapojení a vyhodnocení signálu z tenzometru používají tenzometrické aparatury. Tyto měřicí aparatury mají značné výhody:

- zajistí napájení můstku stabilním napájecím napětím  $U_n$ ;
- dovolují nastavení půlmostu;
- dovolují vynulování můstku na nulovou hodnotu měřicího napětí  $U_m$ ;
- umožní zesílit výstupní napětí můstku na přiměřenou měřicí hodnotu.

Zesílení signálu můstku je jednou z nejdůležitějších funkcí tenzometrických aparatur. Jako smluvní jednotka je udávána jednotka  $mV/V$ . Tato jednotka nám říká, jak je signál zesílen. Standardní zesílení tenzometrických aparatur je  $1\,000\times$  to odpovídá hodnotě  $1\,mV/V$ . Zesílení jednotlivých aparatur se pohybuje od nejcitlivější hodnoty  $0,2\,mV/V$  do  $20\,mV/V$  což odpovídá zesílení od  $5\,000\times$  do  $50\times$ .

Z důvodu, že tenzometrické aparatury používají zesílení a nastavitelnou hodnotu napájecího napětí je pro každý typ tenzometrické aparatury určen způsob výpočtu poměrného prodloužení.

### 5.4.1 Aparatura M1000

Tato aparatura je postavena na bázi tranzistorů. Díky své velmi výhodné ceně je v Česku stále hojně používána.



Obr.5.5 Měřicí aparatura M1000



Při měření pomocí této aparatury použijí upravený vztah pro výpočet poměrného prodloužení.

Upravený výpočet poměrného prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_m \cdot C}{k \cdot n \cdot A \cdot p} \quad [\%] \quad (5.4)$$

kde:

$U_m$  ... měřící napětí [V]

$C$  ... citlivost mostu [mV/V]

$k$  ... konstanta tenzometru [-]

$n$  ... počte aktivních tenzometrů [-]

$A$  ... hodnota cejchu aparatury [V]

$p$  ... konstanta podle odporu tenzometru [-]

Tuto aparaturu jsem použil pro měření útlumu rázů.

#### 5.4.2 Aparatura MGC – Hottinger

Jedná se o moderní tenzometrickou aparaturu, která pracuje digitálně na bázi mikroprocesoru. Tato digitální tenzometrická aparatura je doplněna o řadu dalších funkcí jako digitální filtry, automatické nulování, záznam extrémů a další.



Obr.5.6 Měřící aparatura MGC - Hottinger



Při měření pomoci této aparatury použijí upravený vztah pro výpočet poměrného prodloužení.

Upravený výpočet poměrného prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_m \cdot C}{k \cdot n \cdot 10} \quad [\text{‰}] \quad (5.5)$$

kde:

$U_m$  ... měřící napětí [V]

$C$  ... citlivost mostu [mV/V]

$k$  ... konstanta tenzometru [-]

$n$  ... počte aktivních tenzometrů [-]

Tuto aparaturu jsem použil pro měření statických tuhostí.

## 6. Měření útlumu rázového zatížení

Rázová zkouška spočívá v rázovém zatížení pražce osazeného kompletním uzlem upevnění dle předpisu. Rázové zatížení je vyvozeno pádem závaží na hlavu kolejnice. Účinek nárazu se měří pomocí tenzometrických snímačů instalovaných v přesně stanoveném místě pražce.

### 6.1 Metodika zkoušky útlumu rázu

Metodika měření je dána normou [1].

1. Na zkušební pražec nainstalujeme tenzometrické snímače a uložíme do připraveného štěrkového lože.
2. K pražci upevníme zkušební uzel upevnění dle postupu, který předepsal výrobce upevňovacího uzlu.
3. Na zkušebním zařízení nastavíme požadovanou výšku pádu, tak aby poměrná deformace při rázu ležela v rozmezí 60 až 80% mezní poměrné deformace pro jmenovitou tuhost pražce. Hodnoty poměrné deformace, zatěžující síly při prasknutí a modul pružnosti pražce by měl poskytnout výrobce pražce.
4. Dále vynulujeme výstupní veličiny na měřicí aparatuře a provedeme sérii nárazů. A to tak, že po každém 10. nárazu zaznamenáme hodnotu poměrné deformace pražce. Jestliže má 5 po sobě jdoucích měření velikost odchylky poměrné deformace a časové intervaly první špičky v rozmezí  $\pm 10\%$ . (Tento bod slouží ke kontrole uložení pražce ve štěrkovém loži)
5. Pro zkušební uzel upevnění s referenční podložkou provedeme sérii 10 nárazů, ze kterých následovně stanovíme poměrné deformace v horní ( $\varepsilon_{pert}$ ) a dolní ( $\varepsilon_{perb}$ ) poloze pražce. Které určíme dle vzorce:

- horní tenzometr

$$\varepsilon_{pcrt} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_{pcrt,i}}{10} \quad [\%] \quad (6.1)$$

- dolní tenzometr

$$\varepsilon_{pcrb} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_{pcrb,i}}{10} \quad [\%] \quad (6.2)$$

Tím stanovíme referenční hodnotu poměrné deformace.

6. Vyměníme referenční uzel upevnění za měřený uzel upevnění a opět upevníme dle postupu, který předepsal výrobce upevňovacího uzlu. Dále provedeme 5 nárazů, aby se vymezily vůle. Poté provedeme 3 nárazy, ze kterých vypočítáme útlum rázu měřeného uzlu upevnění v horní a dolní poloze tenzometru.

- horní tenzometr

$$a_{t,i} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{pct,i}}{\varepsilon_{pcrt}} \right) \quad [\%] \quad (6.3)$$

- dolní tenzometr

$$a_{b,i} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{pcb,i}}{\varepsilon_{pcrb}} \right) \quad [\%] \quad (6.4)$$

$i = 1, 2, 3$  je pořadové číslo měřeného rázu se zkoušenou podložkou.

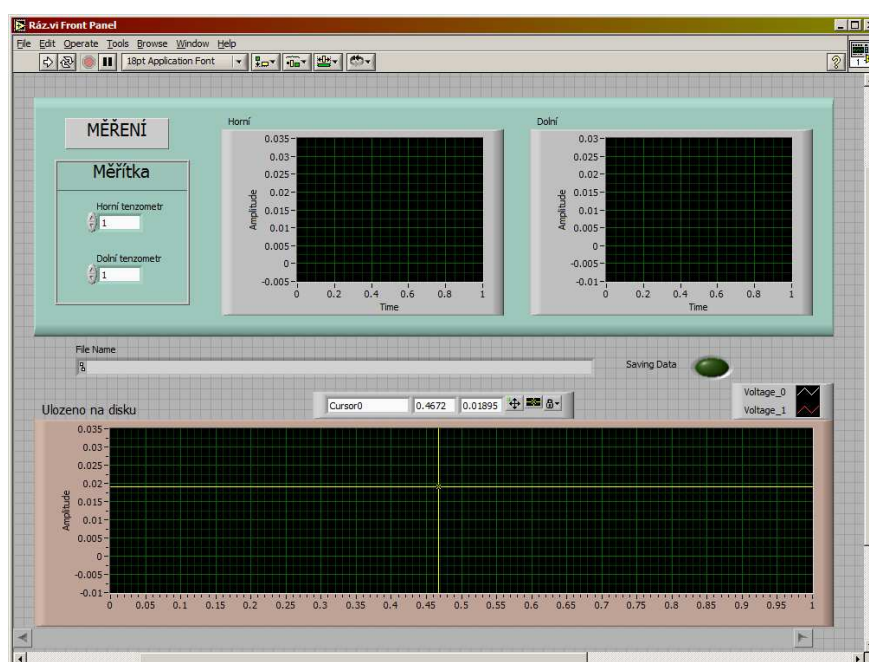
7. Dále vypočítáme útlum rázu měřeného uzlu upevnění pro každé ze 3 měřených nárazů jako střední hodnotu útlumu dle vztahu:

$$a_i = \frac{(a_{t,i} + a_{b,i})}{2} \quad [\%] \quad (6.5)$$

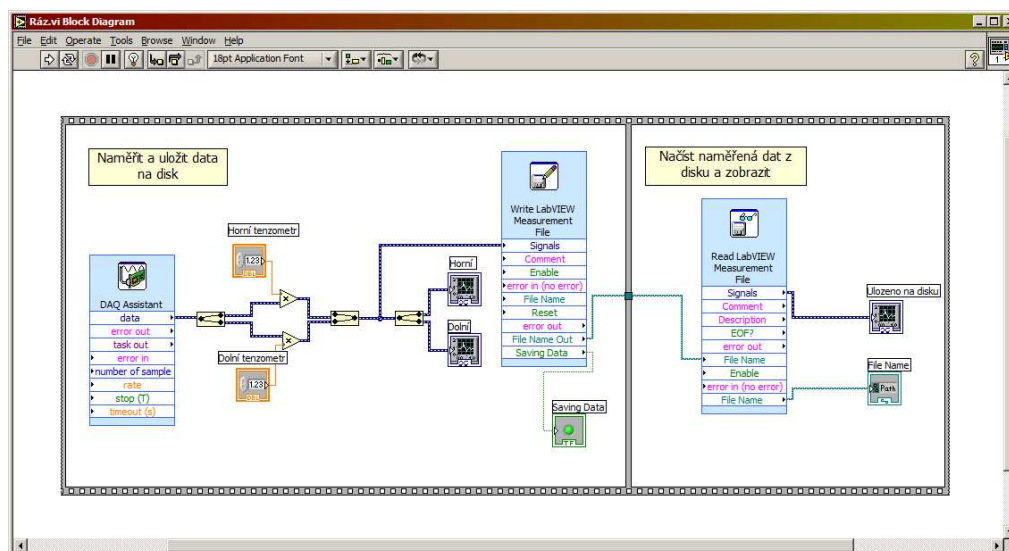
8. Jako poslední krok následuje výpočet výsledného útlumu rázu měřeného uzlu upevnění. Ten se vypočte jako střední hodnota ze 3 útlumů vypočítaných v předchozím kroku:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^3 a_i}{3} \quad [\%] \quad (6.6)$$

Pro záznam zatížení a deformace jsem použil měřicí program vytvořený v programu LabVIEW.



Obr.6.1 Měřicí program pro zkoušku útlumu rázu



Obr.6.2 Blokové schéma měřicího programu

## 6.2 Výpočet zatěžování pražce při rázovém zatížení

Dle normy [1] je možné pražec zatěžovat pouze do 80% meze pevnosti. Z tohoto důvodu je velice důležité správně nastavit výšku, ze které bude na zkoušený uzel upevnění spouštěno závaží. Neboť výškou pádu je možno ovlivnit výslednou hodnotu útlumu viz. [3].

Jako první krok při určení výšky pádu je výpočet poměrné deformace při mezi pevnosti pražce.

### 6.2.1 Výpočet poměrné deformace při mezi pevnosti pražce

Pro výpočet poměrné deformace pražce je zapotřebí znát velikost zatěžující síly, materiál a rozměry pražce. Všechny tyto potřebné informace my poskytla firma ŽPSV a.s..

#### Zátěžná síla

hlava pražce

moment při vzniku trhliny ...  $M_{HVT} = 34,36 \text{ kNm}$

moment při únosnosti ...  $M_{HÚN} = 59,42 \text{ kNm}$

střed pražce

moment při vzniku trhliny ...  $M_{SVT} = 29,38 \text{ kNm}$

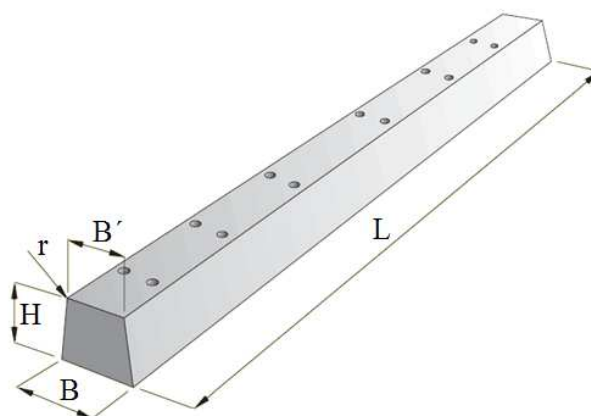
moment při únosnosti ...  $M_{SÚN} = 53,97 \text{ kNm}$

#### Materiál pražce

Pražec je vyroben z předepjatého betonu třídy pevnosti C50-60, která má vlastnosti:

základní modul pružnosti ...  $E_{bo} = 0,4 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

## Rozměry pražce



Obr.6.3 Výhybkový pražec

tabulka 6.1 Technické parametry pohonu

	Délka	Šířka u dolní hrany	Šířka u horní hrany	Výška	Rádus
Označení	$L [mm]$	$B [mm]$	$B' [mm]$	$H [mm]$	$r [mm]$
APP 31 - 19	2 200 – 4 700	300	275	220	10

Pro stanovení meze pevnosti pražce jsem vypočítat  $W_o$ :

$$W_o = \frac{6 \cdot B'^2 + 6 \cdot B' \cdot (B - B') + (B - B')^2}{12 \cdot [3 \cdot B' + 2 \cdot (B - B')]} \cdot H^2$$

$$W_o = \frac{6 \cdot 275^2 + 6 \cdot 275 \cdot 25 + 25^2}{12 \cdot [3 \cdot 275 + 2 \cdot 25]} \cdot 220^2 \quad (6.7)$$

$$W_o = \underline{2,285 \cdot 10^6 \text{ mm}}$$

Mez pevnosti pražce je:

$$\sigma_{OHVT} = \frac{M_{HVT}}{W_o} = \frac{3,436 \cdot 10^7}{2,285 \cdot 10^6} \quad (6.8)$$

$$\sigma_{OHVT} = \underline{15,04 \text{ MPa}}$$

Mez pevnosti pražce při 80% je pak:

$$\sigma_{OHVT80} = \sigma_{OHVT} \cdot 0,8 = 15,04 \cdot 0,8$$

$$\sigma_{OHVT80} = \underline{12,032 \text{ MPa}} \quad (6.9)$$

**Poměrná deformace pražce při 80% meze pevnosti je:**

$$\begin{aligned}\varepsilon_{HVT80} &= \frac{\sigma_{OHVT}}{E_{bo}} = \frac{12,032}{0,4 \cdot 10^5} \\ \varepsilon_{HVT80} &= \underline{3,008 \cdot 10^{-4}}\end{aligned}\tag{6.10}$$

Po přepočtu na promile je poměrná deformace pražce při 80% meze pevnosti pražce **3,008‰**. Dále budu počítat s touto hodnotou.

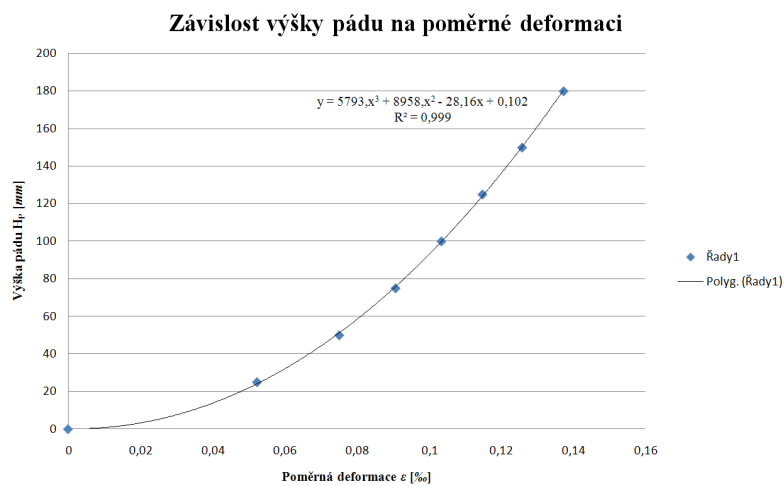
### 6.2.2 Výpočet výšky pádu závaží

Z [3] jsem zjistil závislost poměrné deformace na výšce pádu závaží. Podlé této závislosti a poměrné deformace pražce při 80% meze pevnosti pražce jsem schopen určit výšku pádu závaží.

*tabulka 6.2 Závislost výšky pádu na poměrné deformaci*

Poměrná deformace $\varepsilon$ [‰]	Výška pádu $H_p$ [mm]
0,0524	25
0,0752	50
0,0908	75
0,1035	100
0,1149	125
0,1259	150
0,1374	180

graf 6.1 Graf závislosti výšky pádu na poměrné deformaci



## Výpočet výšky pádu

Pro výpočet jsem použil rovnici polynomické regrese

$$\begin{aligned}
 H_p &= 5\,793 \cdot \varepsilon_{HVT80}^3 + 8\,958 \cdot \varepsilon_{HVT80}^2 - 28,16 \cdot \varepsilon_{HVT80} + 0,102 \\
 H_p &= 5\,793 \cdot 0,3008^3 + 8\,958 \cdot 0,3008^2 - 28,16 \cdot 0,3008 + 0,102 \\
 H_p &= \underline{959,82 \text{ mm}}
 \end{aligned}
 \tag{6.11}$$

Z důvodu konstrukce, umožňuje zkušební zařízení pád závaží pouze z výšky **300 mm**.



Obr.6.4 Zkušební zařízení



### **Poměrná deformace při pádu závaží z výšky 300 mm**

Poměrná deformace při pádu závaží z této výšky musí být menší než vypočtená poměrné deformace pražce při 80% meze pevnosti pražce  $\varepsilon_{HVT80}$ .

Při pádu závaží z této výšky na pražec, na kterém byl nainstalován referenční uzel stávajícího upevnění, byla naměřena poměrná deformace pražce u horní hrany **0,07966‰** a u dolní hrany **0,09354‰**.

Když jsem srovnal vypočtenou hodnotu poměrné deformace pražce při 80% meze pevnosti pražce a naměřenou hodnotu poměrné deformace u dolní hrany pražce zjistil jsem, že vypočtená hodnota poměrné deformace je větší což je správně a můžu provádět zatěžování pádem z této výšky.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pcrb} &< \varepsilon_{HVT80} \\ \underline{0,09354} &< 0,3008 \end{aligned} \tag{6.12}$$

Podmínka je **splněna**.

## **6.3 Výpočet útlumu rázového zatížení**

Z důvodu měření velkého počtu kombinací uzlu upevnění uvedu jen příklad výpočtu referenčního uzlu upevnění a měřeného uzlu upevnění.

Výsledkem tohoto výpočtu je hodnota v procentech, která nám řekne, jak se zlepšil nebo zhoršil útlum rázového zatížení.

### **6.3.1 Referenční uzel upevnění**

Jako příklad výpočtu referenčního uzlu upevnění jsem zvolil referenční uzel upevnění U60.

Výsledek referenčního uzlu upevnění RePo jsem zpracoval formou protokolu a vložil do přílohy.

Výsledkem je střední hodnota poměrné deformace referenčního uzlu upevnění, ke které jsou porovnávány příslušné měřené upevnění.

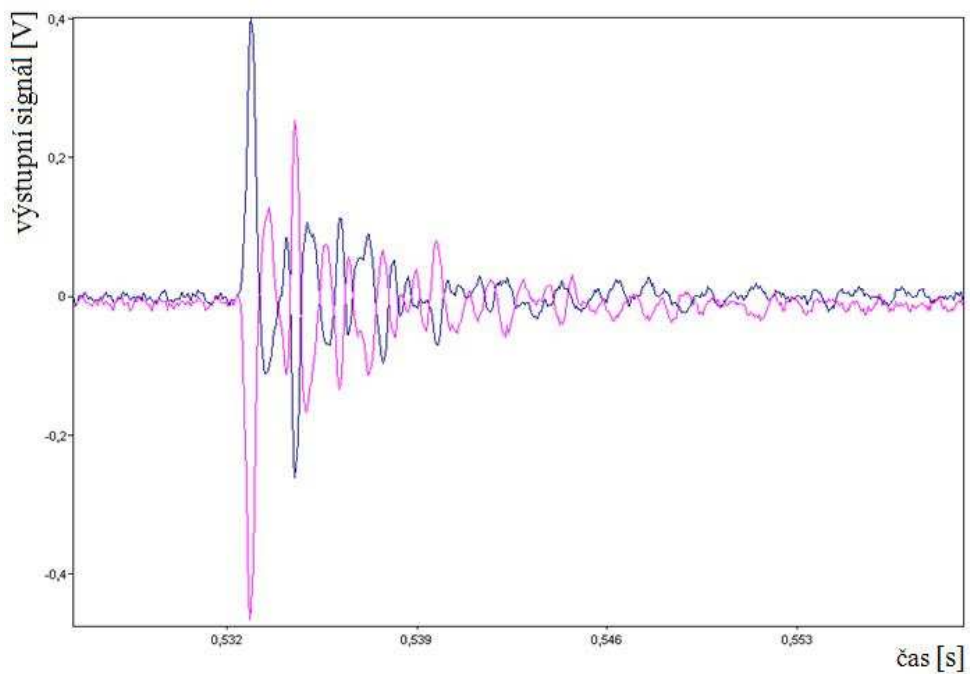
Na obr. 6.3 je referenční uzel upevnění, který je upevněn na zkušební pražci v měřícím zařízení.



*Obr.6.5 Referenční uzel upevnění U60*

Graf 6.2 zobrazuje průběh útlumu rázového zatížení.

*graf 6.2 Graf útlumu rázu uzlu referenčního uzlu upevnění*



## Naměřené a přepočtené hodnoty poměrné deformace

tabulka 6.3 Naměřené a přepočítané hodnoty

Horní tenzometr			Dolní tenzometr		
Ráz č.	Naměřená hodnota	Poměr.def. $\varepsilon_{prt,i}$	Ráz č.	Naměřená hodnota	Poměr.def. $\varepsilon_{prb,i}$
	[V]	[‰]		[V]	[‰]
1	0,399052	0,0767	1	-0,46617	-0,0896
2	0,409256	0,0787	2	-0,45852	-0,0882
3	0,401603	0,0772	3	-0,45087	-0,0867
4	0,401603	0,0772	4	-0,44833	-0,0862
5	0,39395	0,0757	5	-0,48657	-0,0935
6	0,399052	0,0767	6	-0,46107	-0,0886
7	0,414358	0,0797	7	-0,45852	-0,0882
8	0,396501	0,0762	8	-0,46617	-0,0896
9	0,399052	0,0767	9	-0,46872	-0,0901
10	0,388848	0,0748	10	-0,46872	-0,0901

### Přepočet naměřených hodnot na poměrné prodloužení (viz. vzorec 5.4)

Pro použité tenzometry a aparaturu mají použité konstanty hodnotu:

citlivost mostu ...  $C = 0,1 \text{ mV/V}$

konstanta tenzometru ...  $k = 2,08$

počet aktivních tenzometrů ...  $n = 2$

hodnota cejchu aparatury ...  $A = 1 \text{ V}$

konstanta podle odporu tenzometru ...  $p = 1,003$

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_m \cdot C}{k \cdot n \cdot A \cdot p}$$

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot 0,399052 \cdot 0,1}{2,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,003} = \underline{0,0767}$$

### Výpočet střední hodnoty poměrné deformace referenčního uzlu upevnění

- horní tenzometr (viz. vzorec 6.1)

$$\varepsilon_{prt} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_{prt,i}}{10}$$
$$\varepsilon_{prt} = \underline{0,0769}$$

- dolní tenzometr (viz. vzorec 6.2)

$$\varepsilon_{prb} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_{prb,i}}{10}$$
$$\varepsilon_{prb} = \underline{-0,0891}$$

tabulka 6.4 Protokol o zkoušce útlumu rázového zatížení

Měření provedl <b>VŠB – TU Ostrava</b>		<b>PROTOKOL</b>  <b>o zkoušce útlumu rázového zatížení referenční uzel upevnění</b>		Označení
Odběratel <b>DT – Výhybkárna a strojírna, a.s.</b>				Číslo protokolu <b>Č.P. UT1R</b>
Norma	ČSN EN 13146-3 Železniční aplikace – Trať – Metody zkoušení systémů upevnění Část 3: Stanovení útlumu rázového zatížení.			
Venkovní podmínky	Teplota v laboratoři: 23°C±2°C	Teplota vzorku: 23°C±2°C		
	Tlak vzduchu: 1 013,25 hPa	Vlhkost vzduchu: 50%±10%		
Měřená podložka	Výrobce:	Tloušťka [mm]: $d_t = 6 \text{ mm}$		
	Typ: Zw 661	Materiál: E/VA (ethylen/vinylacetát)		
Upevnění	Pražec: Betonový APP 31 - 19	Podkladnice: U60		
	Svěrky: ŽS4	Podložka pod podkladnicí: PENEFOIL 900		
	Kolejnice: 60E1	Podložka pod kolejnicí: Zw 661		
Výsledky měření	Číslo rázu	Horní tenzometr	Dolní tenzometr	Horní tenzometr: $\epsilon_{pert} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \epsilon_{pert,i}}{10}$ Dolní tenzometr: $\epsilon_{perb} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \epsilon_{perb,i}}{10}$
		$\epsilon_{pert,i} [\%]$	$\epsilon_{perb,i} [\%]$	
	1.	0,0767	-0,0896	
	2.	0,0787	-0,0882	
	3.	0,0772	-0,0867	
	4.	0,0772	-0,0862	
	5.	0,0757	-0,0935	
	6.	0,0767	-0,0886	
	7.	0,0797	-0,0882	
	8.	0,0762	-0,0896	
	9.	0,0767	-0,0901	
10.	0,0748	-0,0901		
Průměrná hodnota poměrné deformace z první špičky horního snímače $\epsilon_{pert} [\%]$				<b>0,0769</b>
Průměrná hodnota poměrné deformace z první špičky dolního snímače $\epsilon_{perb} [\%]$				<b>-0,0891</b>
Měřil:	V. Huňka			Datum: 5.5.2009

### 6.3.2 Měřený uzel upevnění

Jako příklad výpočtu měřeného uzlu upevnění jsem zvolil uzel upevnění číslo 5. Jde o uzel upevnění který se skládá z kolejnice 60E1, podložky pod kolejnici R65 (*obr.3.11*), podkladnice U60 (*obr.3.8*), svěrky Skl 24 (*obr.3.6*) a podložky pod podkladnici PENEFOL 900 (*obr.3.14*).

Výsledky ostatních měřených uzlu upevnění jsem zpracoval formou protokolu a vložil do přílohy.

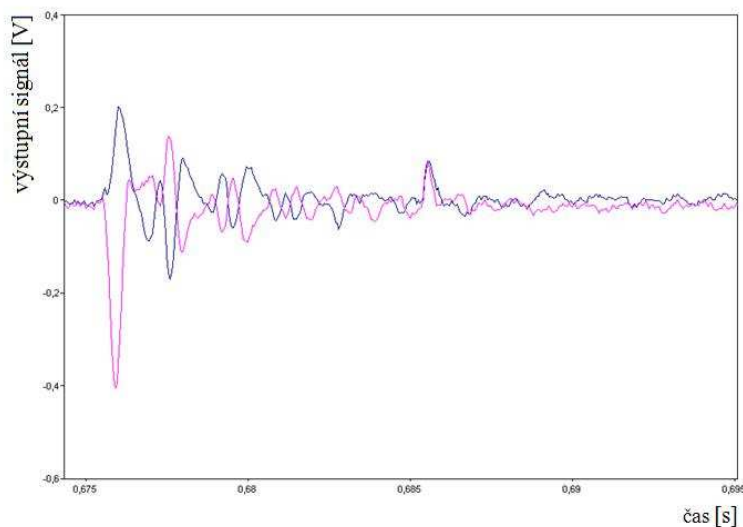
Na obr. 6.4 je uzel upevnění číslo 5, který je upevněn na zkušební pražci v měřícím zařízení.



*Obr.6.6 Měřený uzel upevnění U60 číslo 5*

Graf 6.3 zobrazuje průběh útlumu rázového zatížení.

*graf 6.3 Graf útlumu rázu uzlu upevnění č.5*



## Naměřené a přepočtené hodnoty poměrné deformace

tabulka 6.5 Naměřené a přepočítané hodnoty

	parametr [jednotka]	číslo rázu		
		1.	2.	3.
Horní snímač	$U_m$ [V]	0,202624	0,262207	0,261297
	$\varepsilon_{pct}$ [‰]	0,0390	0,0504	0,0502
	$a_t$ [%]	49,39	34,50	34,73
Dolní snímač	$U_m$ [V]	-0,40498	-0,31232	-0,30555
	$\varepsilon_{pcd}$ [‰]	-0,0779	-0,0600	-0,0587
	$a_d$ [%]	12,60	32,60	34,06
Útlum rázu	$a_i$ [%]	30,99	33,55	34,39
Celkový útlum rázu	$a$ [%]	<b>32,98</b>		

### Přepočet naměřených hodnot na poměrné prodloužení (viz. vzorec 5.4)

Pro použité tenzometry a aparaturu mají použité konstanty hodnotu:

citlivost mostu ...  $C = 0,1 \text{ mV/V}$

konstanta tenzometru ...  $k = 2,08$

počet aktivních tenzometrů ...  $n = 2$

hodnota cejchu aparatury ...  $A = 1 \text{ V}$

konstanta podle odporu tenzometru ...  $p = 1,003$

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_m \cdot C}{k \cdot n \cdot A \cdot p}$$

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot 0,202624 \cdot 0,1}{2,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,003} = 0,0390$$

### Výpočet útlumu rázu měřeného uzlu upevnění pro každý ráz

- horní tenzometr (viz. vzorec 6.3)

$$a_{t,1} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{pct,1}}{\varepsilon_{pct}} \right)$$

$$a_{t,1} = \underline{49,39 \%}$$

- dolní tenzometr (viz. vzorec 6.4)

$$a_{b,1} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{pcb,1}}{\varepsilon_{pcrb}} \right)$$

$$a_{b,1} = \underline{12,60 \%}$$

**Výpočet útlumu rázu měřeného uzlu upevnění pro každé ze 3 měřených nárazů jako střední hodnotu útlumu (viz. vzorec 6.5)**

$$a_1 = \frac{(a_{t,1} + a_{b,1})}{2}$$

$$a_1 = \underline{30,99 \%}$$

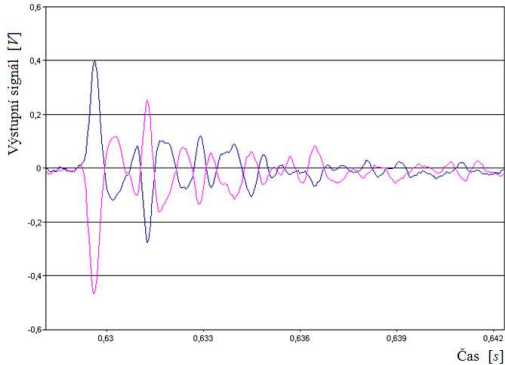
**Výpočet celkového útlumu rázu měřeného uzlu upevnění (viz. vzorec 6.6)**

$$a = \frac{\sum_{i=1}^3 a_i}{3}$$

$$a = \underline{32,98 \%}$$



tabulka 6.6 Protokol o zkoušce útlumu rázového zatížení

Měření provedl <b>VŠB – TU Ostrava</b>		<b>PROTOKOL</b>  <b>o zkoušce útlumu rázového zatížení uzlu upevnění</b>		Označení			
Odběratel <b>DT – Výhybkárna a strojírna, a.s.</b>				Číslo protokolu <b>Č.P. UT3</b>			
Norma ČSN EN 13146-3 Železniční aplikace – Trať – Metody zkoušení systémů upevnění Část 3: Stanovení útlumu rázového zatížení.							
Venkovní podmínky		Teplota v laboratoři: 23°C±2°C		Teplota vzorku: 23°C±2°C			
		Tlak vzduchu: 1 013,25 hPa		Vlhkost vzduchu: 50%±10%			
Měřená podložka		Výrobce:		Tloušťka [mm]: $d_t = 6 \text{ mm}$			
		Typ: R65		Materiál: Pryž			
Upevnění		Pražec: Betonový APP 31 - 19		Podkladnice: U60			
		Svěrky: Skl 24		Podložka pod podkladnicí: PENEFOIL 900			
		Kolejnice: 60E1		Podložka pod kolejnicí: R65			
Referenční upevnění		Číslo protokolu: UT1R		ze dne: 5.5.2009			
		Průměrné hodnoty poměrné deformace z první špičky		horní snímač $\varepsilon_{pct}$ : 0,0769			
				dolní snímač $\varepsilon_{pcd}$ : -0,0891			
Výsledky měření		parametr [jednotka]		číslo rázu			
				1.	2.	3.	
		Horní snímač		$\varepsilon_{pct}$ [‰]	0,0390	0,0504	0,0502
				$a_t$ [%]	49,39	34,50	34,73
		Dolní snímač		$\varepsilon_{pcd}$ [‰]	-0,0779	-0,0600	-0,0587
				$a_d$ [%]	12,60	32,60	34,06
Útlum rázu		$a_i = \frac{(a_{t,i} + a_{d,i})}{2}$ [%]	30,99	33,55	34,39		
Celkový útlum rázu [%]			<b>32,98</b>				
Graf útlumu rázu							
Měřil: V. Huňka				Datum: 5.5.2009			

## 6.4 Zhodnocení měření

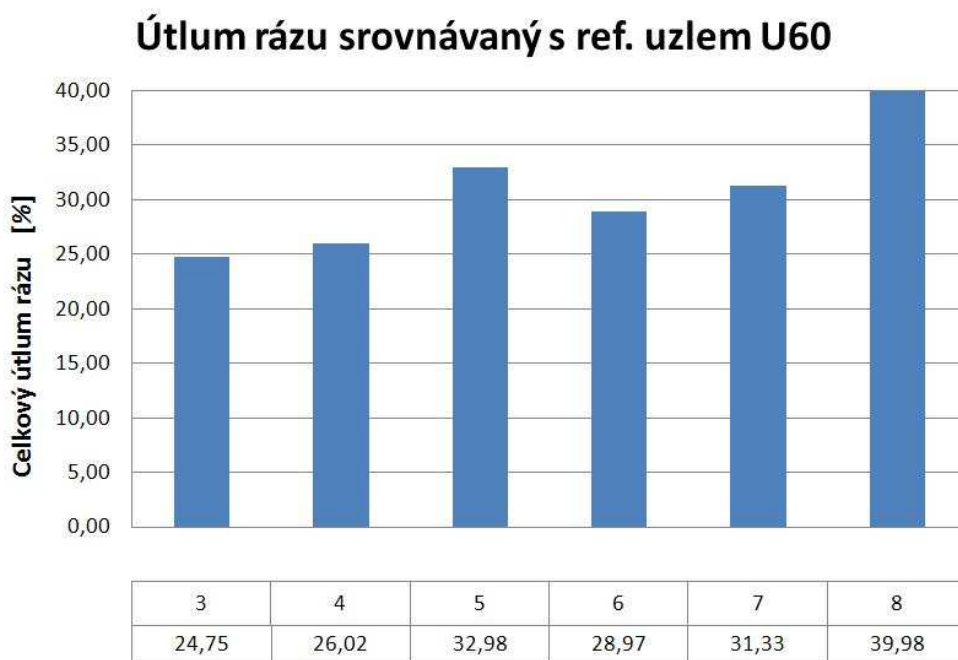
Jak již bylo řečeno, výsledkem tohoto měření je hodnota útlumu rázu v procentech, která nám řekne, jak se změní útlum rázového zatížení jednotlivých uzlů upevnění vůči referenčnímu uzlu upevnění.

### 6.4.1 Srovnání uzlů upevnění s uzlem upevněním U60

V tomto měření jsem se zaměřil na srovnání již používaných uzlů upevnění. Především jak se změní útlum, když použiji rozdílné svěrky a podložky pod podkladnici.

tabulka 6.7 Tabulka celkových útlumů rázů

Číslo uzlu upevnění	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Celkový útlum rázu [%]	24,75	26,02	32,98	28,97	31,33	39,98



Obr.6.7 Graf útlumu rázu

Ze zkoušených svěrek vykazuje nejlepší útlum svěrka Skl 24 (obr.3.6). Při srovnání se svěrkou ŽS4 má svěrka Skl 24 o 8% větší útlum rázu.

Pokud porovnáám podložky pod podkladnici lepších výsledků dosáhla podložka EVA (obr.3.15).

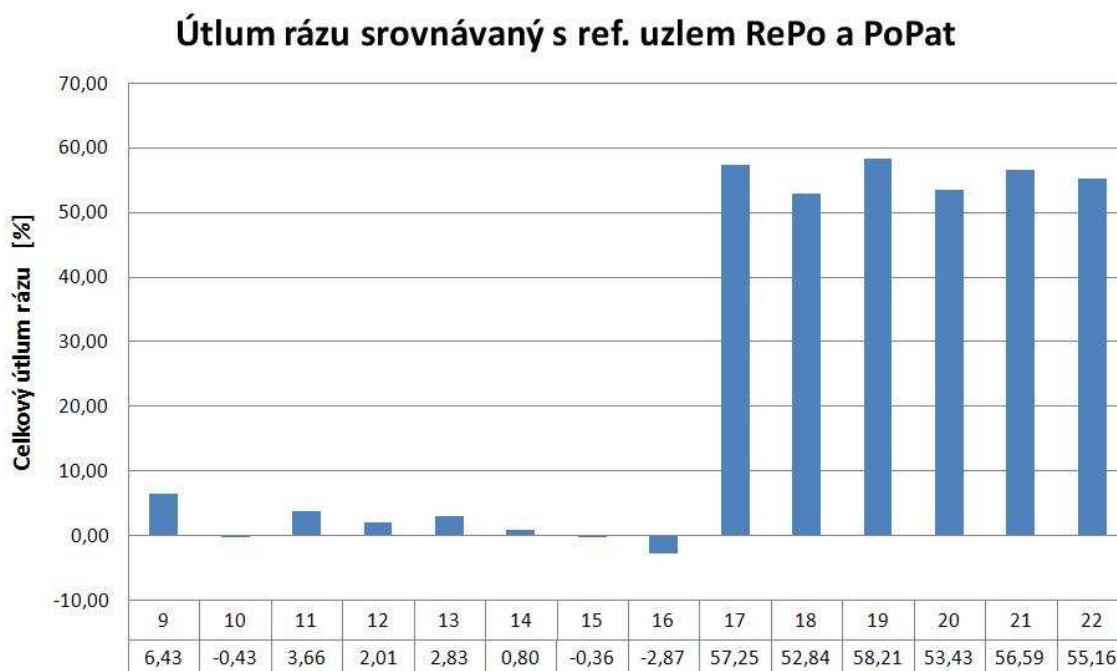
### 6.4.2 Srovnání uzlů upevnění s uzlem upevněním RePo

U uzlů upevnění, které jsem porovnával s referenčním uzlem upevnění RePo, jsem se zaměřil na porovnávání jednotlivých částí uzlů upevnění a na srovnání stávajícího stavu upevnění s novým uzlem upevnění. Když jsem provedl jejich srovnání zjistil jsem, že rozdíl mezi stávajícím upevněním RePo a novým uzlem upevnění PoPat je značný, že upevnění PoPat má o 50% větší utlum než upevnění RePo, které nahrazuje stávající stav.

Dále jsem provedl srovnání uzlů upevnění s neporušenou podložkou pod kolejnici R65 a provozně zatíženou podložkou pod kolejnici R65. Tímto srovnáním můžeme zjistit, jak se bude chovat uzel upevnění po určité době provozu ve výhybce. Jejich srovnáním jsem zjistil, že deformovaná podložka má o 2 až 5% menší schopnost útlumu rázu.

tabulka 6.8 Tabulka celkových útlumů rázů

Číslo uzlu upevnění	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
Celkový útlum rázu [%]	<b>6,43</b>	<b>-0,43</b>	<b>3,66</b>	<b>2,01</b>	<b>2,83</b>	<b>0,80</b>	<b>-0,36</b>
Číslo uzlu upevnění	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.
Celkový útlum rázu [%]	<b>-2,87</b>	<b>57,25</b>	<b>52,84</b>	<b>58,21</b>	<b>53,43</b>	<b>56,59</b>	<b>55,16</b>



Obr.6.8 Graf útlumu rázu

## 7. Měření statické tuhosti

Zjišťování statické tuhosti podložek a uzlů upevnění spočívá v pozvolném zatěžování podložek a uzlů upevnění tlakovou silou.

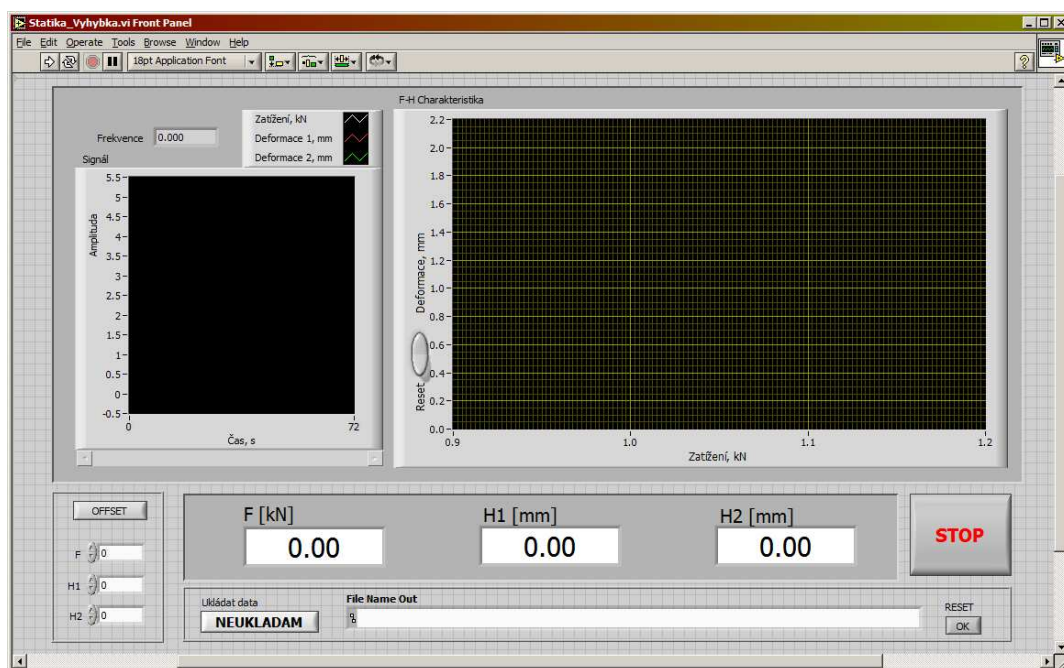
### 7.1 Metodika měření statické tuhosti

1. Zkoušku provádíme na trhacím stroji, který je upraven, aby na něm šla provádět tato zkouška. Úpravy se týkají instalací přitlačných desek a měřících snímačů posuvu.
2. Mezi přitlačné desky zkušebního stroje vložíme zkušební podložku nebo uzel upevnění. Mezi přitlačné desky a zkoušenou podložku smirkový papír, aby byla zajištěna jednoznačnost a opakovatelnost zkoušky.
3. Dále ke zkušebnímu stroji připojíme snímače posuvu, které připojíme k měřící aparatuře.
4. Nyní provedeme zatížení zkoušené podložky silou 1 *kN*.
5. Po vynulování hodnot výstupních veličin na měřící aparatuře provedeme zkušební zatížení zkušební položky nebo uzlu upevnění. To provádíme z toho důvodu, aby se zkušební podložka nebo uzel upevnění správně usadil. Zkušební podložku nebo uzel upevnění zatěžujeme v rozmezí 1 – 95 *kN* a poté postupně odlehčujeme na hodnotu zatížení 1 *kN*. To opakujeme dvakrát.
6. Nyní se provede vynulování hodnot výstupních veličin na měřící aparatuře a provede se vlastní měření zkušební podložky. Zkušební podložku zatěžujeme v rozmezí 1 – 95 *kN* a poté postupně odlehčujeme na hodnotu zatížení 1 *kN*. A zaznamenáme naměřené hodnoty.
7. Poslední krok je vyhodnocení naměřených hodnot. Výsledkem je graf znázorňující průběh statické tuhosti měřené zkušební podložky nebo uzlu upevnění.



*Obr.7.1 Měření statické tuhosti*

Pro záznam zatížení a deformace jsem použil měřicí program vytvořený v programu LabVIEW.



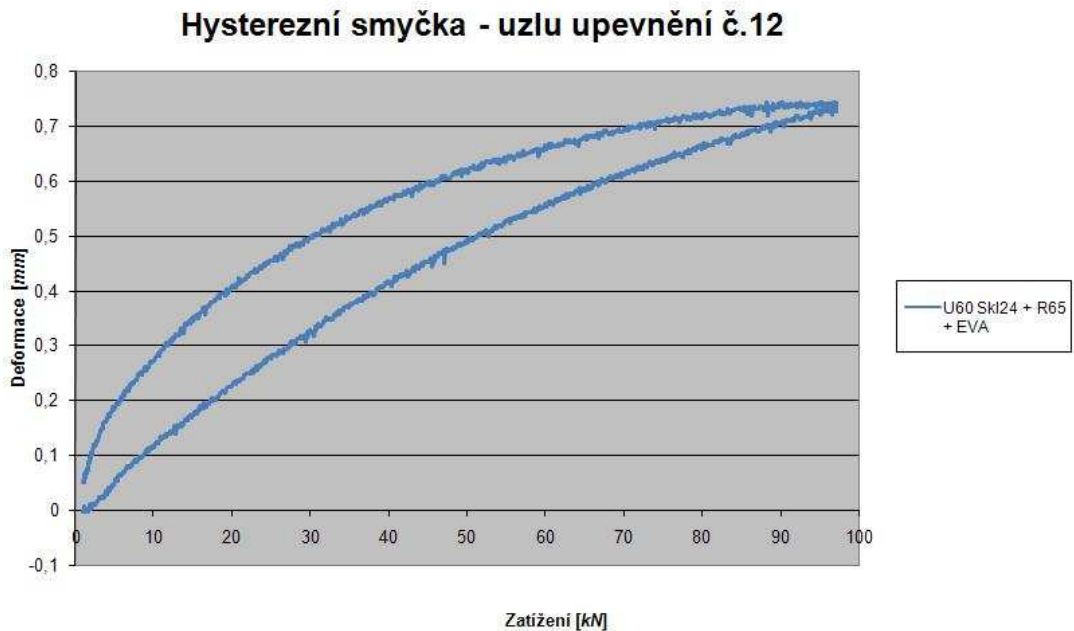
*Obr.7.2 Měřicí program pro zkoušku statické tuhosti*





Obr.7.4 Měření statické tuhosti uzlu upevnění číslo 12

graf 7.1 Graf hysterezní smyčky uzlu upevnění č.12



### Výpočet poměrného stlačení

$$\varepsilon_i = 100 \cdot \frac{\Delta h_i}{h_p} = 100 \cdot \frac{0,114}{16} \quad (7.1)$$

$$\varepsilon_{10} = \underline{0,713 \%}$$

kde:

$h_p$  ... tloušťka všech použity nezatížených podložek v uzlu upevnění  
v tomto případě je součet roven  $h_p = 16 \text{ mm}$



tabulka 7.1 Vypočítané hodnoty

Zatížení	Deformace	Poměrné stlačení	Okamžitá tuhost	Stlačení mezi stupni zatížení		Sečná statická tuhost	
$P_i$	$\Delta h_i$	$\varepsilon_i$	$C_{soi}$	$\Delta h_{i/j}$	$[mm]$	$C_{Si/j}$	$[kN/mm]$
$[kN]$	$[mm]$	$[\%]$	$[kN/mm]$	$\Delta h_{20/1}$	0,226	$C_{S\ 20/1}$	83,92
10	0,114	0,713	87,72	$\Delta h_{68/18}$	0,151	$C_{S\ 68/18}$	331,10
20	0,227	1,420	88,02	$\Delta h_{90/18}$	0,502	$C_{S\ 90/18}$	143,47
30	0,326	2,037	92,02	$\Delta h_{95/18}$	0,525	$C_{S\ 95/18}$	146,57
40	0,412	2,575	97,07	$\Delta h_{90/68}$	0,351	$C_{S\ 90/68}$	62,71
50	0,492	3,077	101,56	$\Delta h_{95/68}$	0,374	$C_{S\ 95/68}$	72,13
60	0,557	3,481	107,74	$\Delta h_{50/20}$	0,265	$C_{S\ 50/20}$	113,18
70	0,610	3,811	114,81	$\Delta h_{70/20}$	0,383	$C_{S\ 70/20}$	130,55
80	0,658	4,110	121,64	$\Delta h_{70/50}$	0,117	$C_{S\ 70/50}$	170,37
90	0,706	4,410	127,56	$\Delta h_{90/20}$	0,478	$C_{S\ 90/20}$	146,34
95	0,729	4,557	130,30	$\Delta h_{95/20}$	0,502	$C_{S\ 95/20}$	149,45
				$\Delta h_{90/70}$	0,096	$C_{S\ 90/70}$	208,61
				$\Delta h_{95/70}$	0,119	$C_{S\ 95/70}$	209,43

### Výpočet okamžité tuhosti

$$C_{soi} = \frac{P_i}{\Delta h_i} = \frac{10}{0,114} \quad (7.2)$$

$$C_{so10} = \underline{87,72 \text{ kN} / \text{mm}}$$

### Výpočet stlačení mezi stupni zatížení

$$h_{i/j} = h_i - h_j = 0,610 - 0,227 \quad (7.3)$$

$$h_{70/20} = \underline{0,383 \text{ mm}}$$

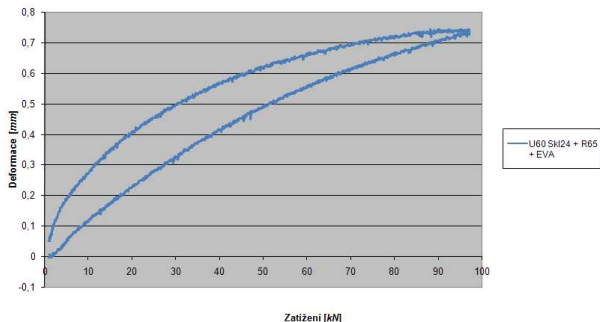
### Výpočet sečné tuhosti

$$C_{Si/j} = \frac{\Delta P_{i/j}}{\Delta h_{i/j}} = \frac{50}{0,383} \quad (7.4)$$

$$C_{S70/20} = \underline{130,55 \text{ kN} / \text{mm}}$$



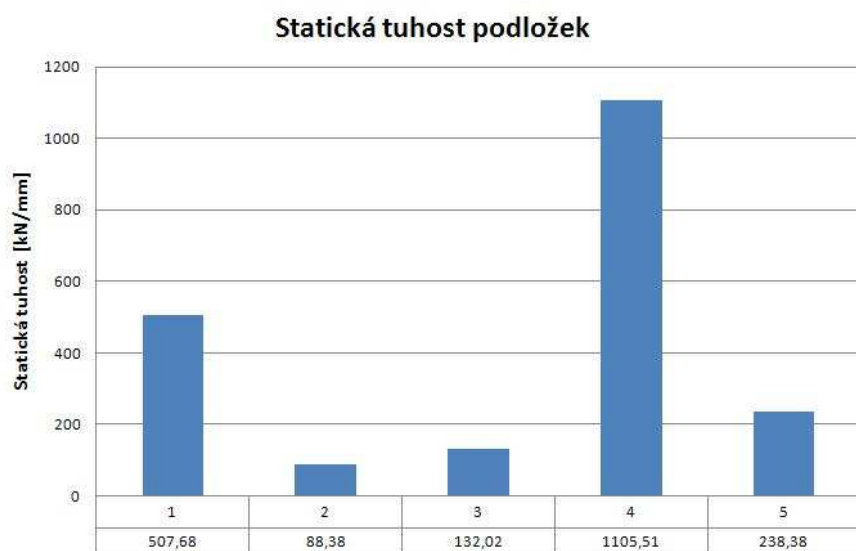
tabulka 7.2 Protokol o zkoušce statické tuhosti

Měření provedl		PROTOKOL				Označení			
VŠB – TU Ostrava						Číslo protokolu			
Odběratel									
DT – Výhybkárna a strojírna, a.s.		o zkoušce statické tuhosti uzlu upevnění				Č.P. ST12			
Norma									
Venkovní podmínky		Teplota v laboratoři: 23°C±2°C			Teplota vzorku: 23°C±2°C				
		Tlak vzduchu: 1 013,25 hPa			Vlhkost vzduchu: 50%±10%				
Měřená podložka		Výrobce:			Tloušťka [mm]: $d_t = 6\text{ mm}$				
		Typ: R65			Materiál: Pryž				
Upevnění		Pražec: Betonový APP 31 - 19			Podkladnice: U60				
		Svěrky: Skl 24			Podložka pod podkladnicí: EVA				
		Kolejnice: 60E1			Podložka pod kolejnicí: R65				
Výsledky měření		Zatížení	Deformace	Poměrné stlačení	Okamžitá tuhost	Stlačení mezi stupni zatížení		Sečná statická tuhost	
		$P_{(i)}$	$\Delta h_{(i)}$	$\varepsilon_{(i)}$	$C_{so(i)}$	$\Delta h_{(i)}$	[mm]	$C_{S(i)}$	[kN/m m]
		[kN]	[mm]	[%]	[kN/mm]	$\Delta h_{20/1}$	0,226	$C_{S\ 20/1}$	83,92
		10	0,114	0,713	87,72	$\Delta h_{68/18}$	0,151	$C_{S\ 68/18}$	331,10
		20	0,227	1,420	88,02	$\Delta h_{90/18}$	0,502	$C_{S\ 90/18}$	143,47
		30	0,326	2,037	92,02	$\Delta h_{95/18}$	0,525	$C_{S\ 95/18}$	146,57
		40	0,412	2,575	97,07	$\Delta h_{90/68}$	0,351	$C_{S\ 90/68}$	62,71
		50	0,492	3,077	101,56	$\Delta h_{95/68}$	0,374	$C_{S\ 95/68}$	72,13
		60	0,557	3,481	107,74	$\Delta h_{50/20}$	0,265	$C_{S\ 50/20}$	113,18
		70	0,610	3,811	114,81	$\Delta h_{70/20}$	0,383	$C_{S\ 70/20}$	130,55
		80	0,658	4,110	121,64	$\Delta h_{70/50}$	0,117	$C_{S\ 70/50}$	170,37
		90	0,706	4,410	127,56	$\Delta h_{90/20}$	0,478	$C_{S\ 90/20}$	146,34
		95	0,729	4,557	130,30	$\Delta h_{95/20}$	0,502	$C_{S\ 95/20}$	149,45
						$\Delta h_{90/70}$	0,096	$C_{S\ 90/70}$	208,61
						$\Delta h_{95/70}$	0,119	$C_{S\ 95/70}$	209,43
Graf statické tuhosti		<div>Hysterezní smyčka - Sestava U60 Skl24 + R65 + EVA</div> 							
Měřil:		V. Huňka				Datum:			
						5.5.2009			

### 7.3 Zhodnocení měření statické tuhosti

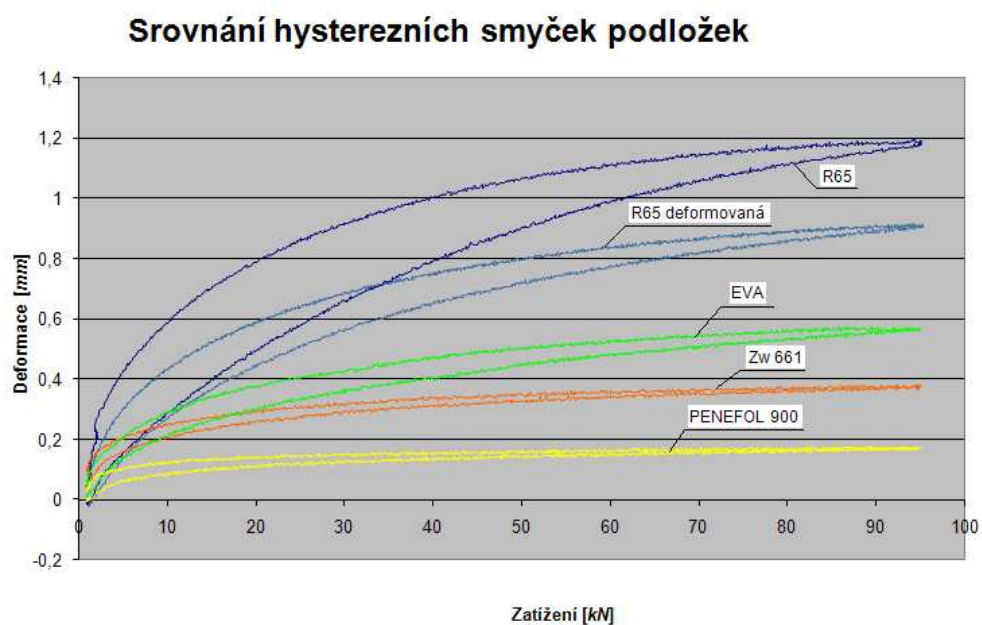
Výsledkem tohoto měření je hodnota statické tuhost  $C_{S70/20}$  a hysterezní smyčka měřených podložek a uzlů upevnění.

#### 7.3.1 Srovnání tuhostí podložek

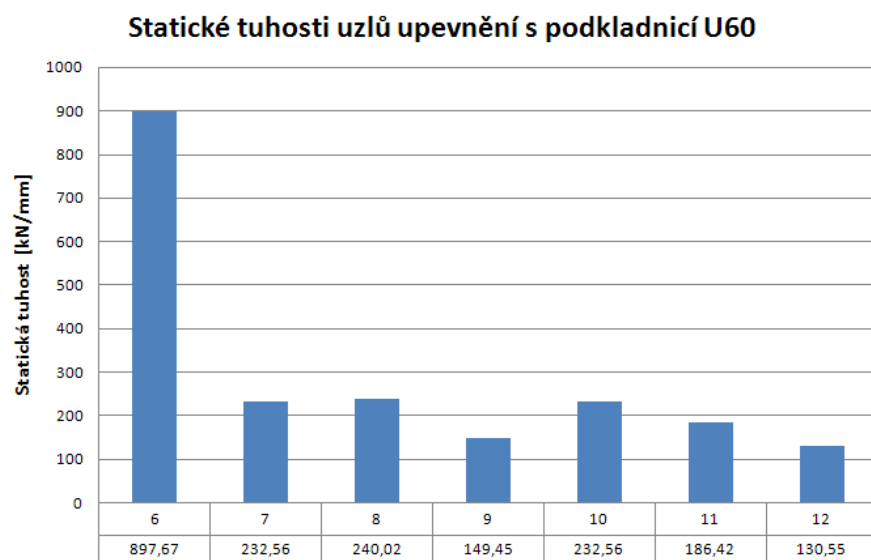


Obr.7.5 Statické tuhosti podložek

graf 7.3 Graf srovnání hysterezních smyček

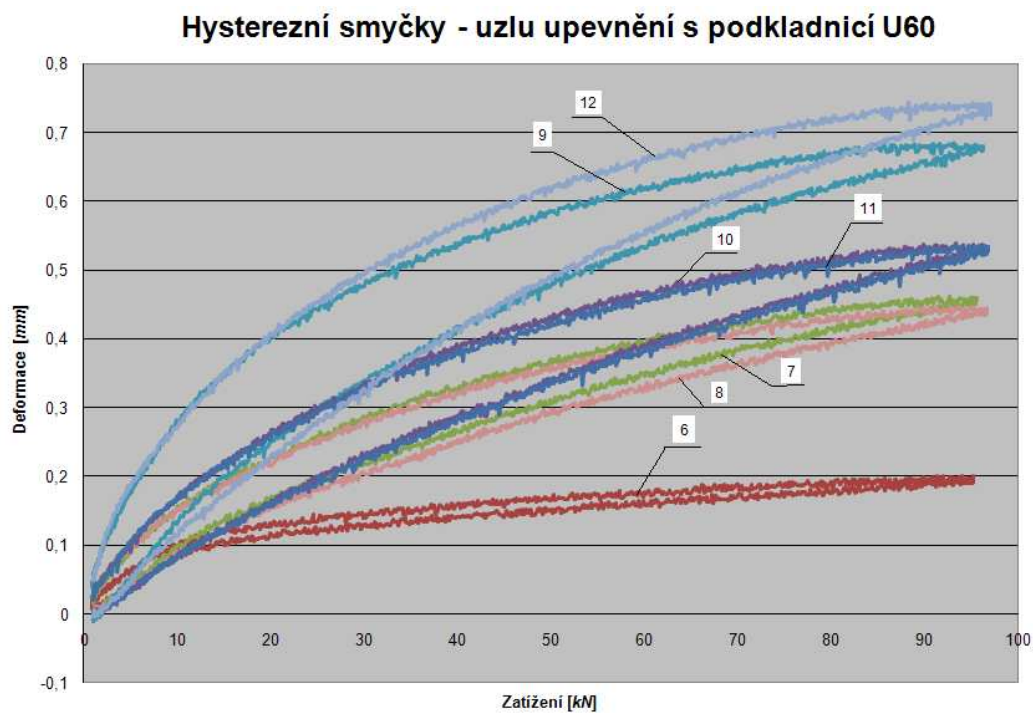


### 7.3.2 Srovnání tuhostí uzlů upevnění s podkladnicí U60

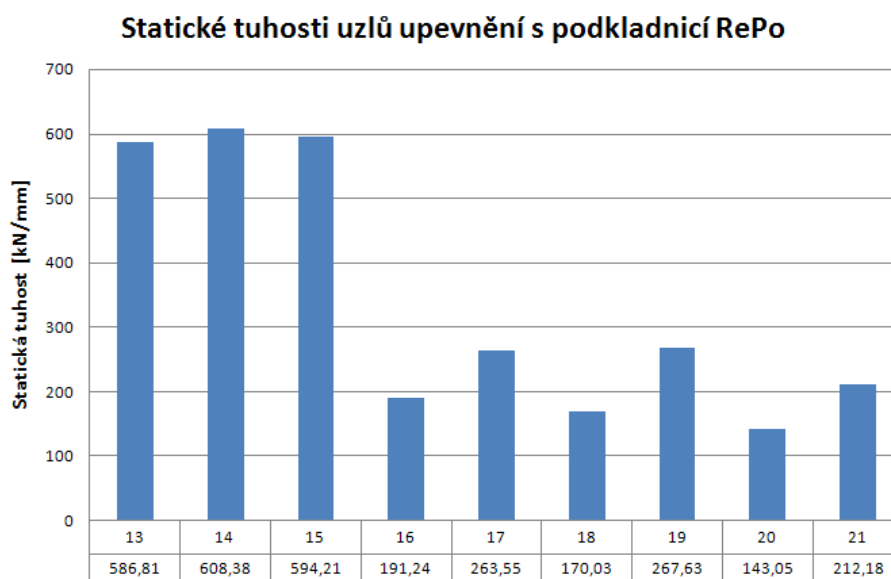


Obr.7.6 Statické tuhosti

graf 7.5 Graf srovnání hysterezních smyček

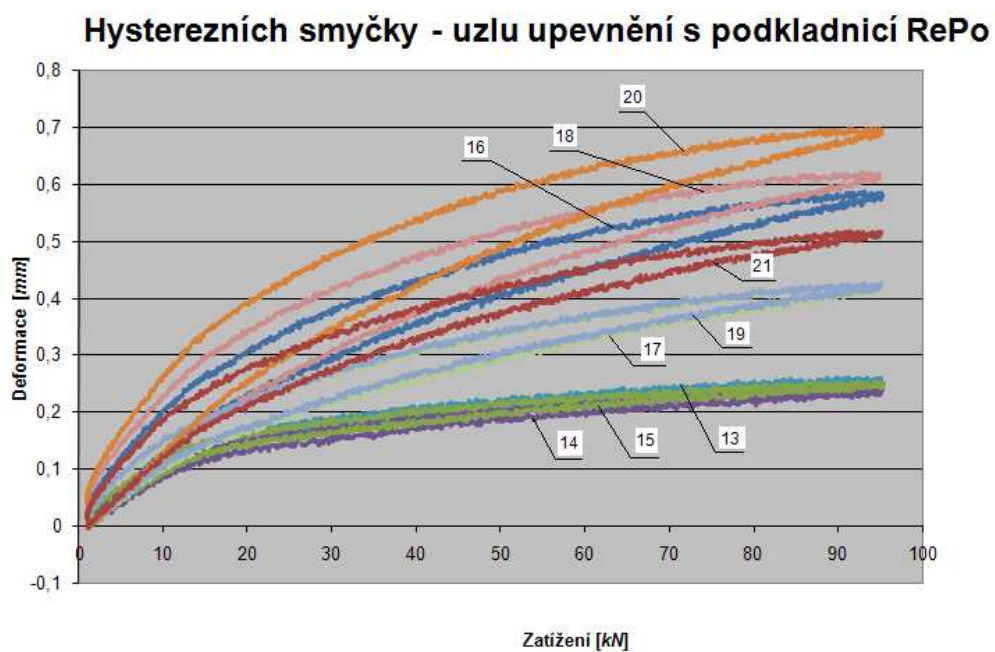


### 7.3.3 Srovnání tuhostí uzlů upevnění s podkladnicí RePo

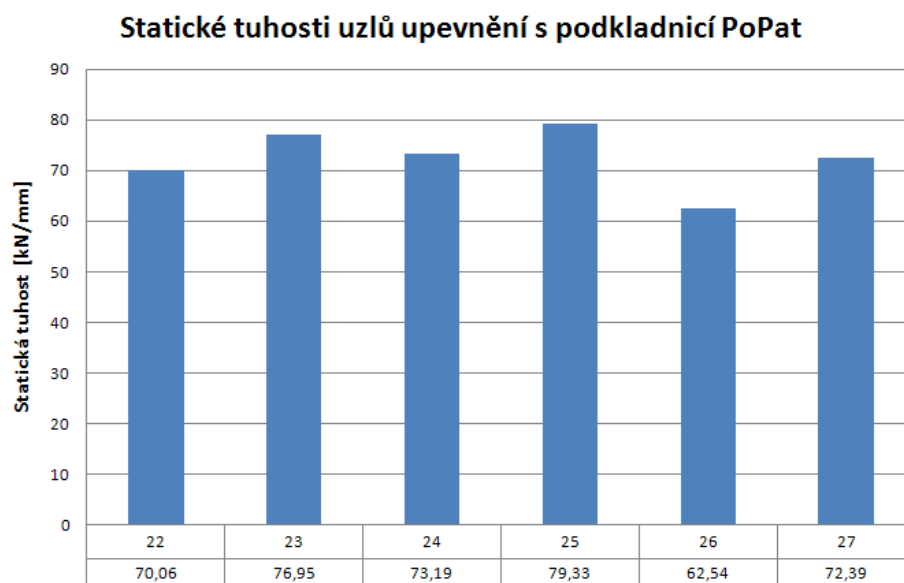


Obr.7.7 Statické tuhosti

graf 7.7 Graf srovnání hysterezních smyček

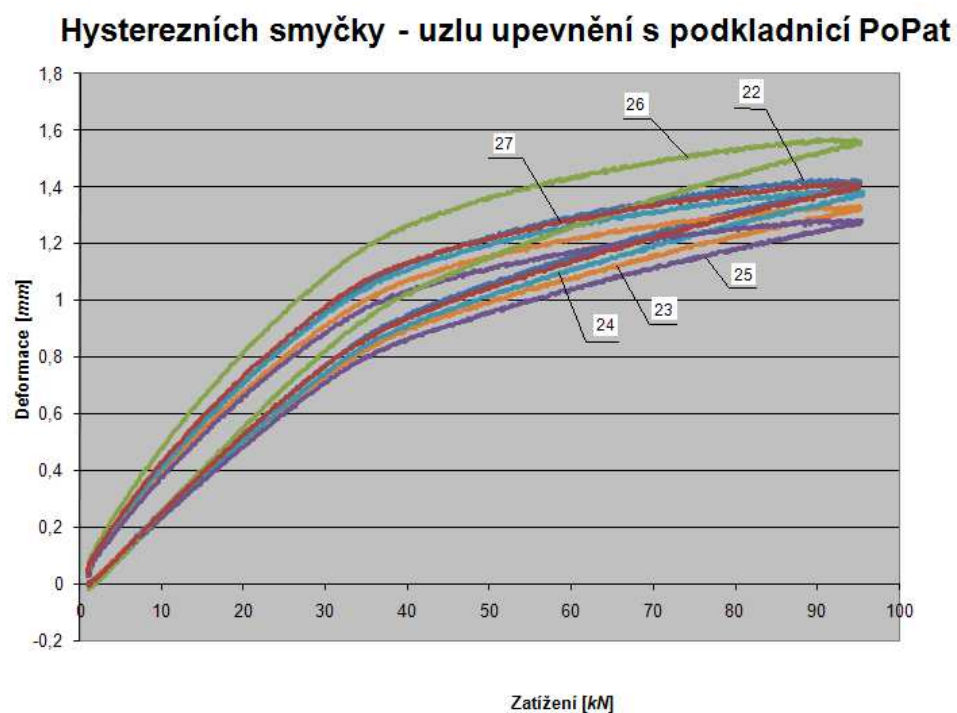


### 7.3.4 Srovnání tuhostí uzlů upevnění s podkladnicí PoPat



Obr.7.8 Statické tuhosti

graf 7.9 Graf srovnání hysterezních smyček



## 8. Pevnostní výpočet

Pro výpočet metodou konečných prvků jsem zvolil podkladnici pod kolejnicí v uzlu upevnění PoPat. Tuto podkladnici jsem zvolil z toho důvodu, že je uložena na podložce R65. Pro výpočet jsem zvolil variantu která je složena z kolejnice 60E1, podložky pod kolejnicí R65 (*obr.3.11*), podkladnice PoPat (*obr.3.19*), svěrky ŽS4 (*obr.3.2*) a podložky pod podkladnicí PENEFOL 900 (*obr.3.14*). Svěrku ŽS4 jsem zvolit, protože je z měřených svěrek nejtužší a neumožňuje pružení.

### 8.1 Určení okrajových podmínek

Při určování okrajových podmínek jsem vycházel z naměřených hodnot tuhostí pružných podložek a z předpisu pro správné připevnění svěrek.

Statická tuhost použité podložky R65

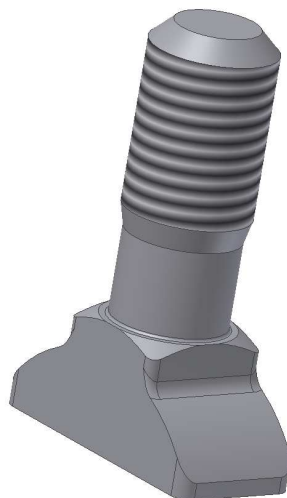
Pro výpočet jsem použil sečnou statickou tuhost  $C_{S70/20} = 88,38 \text{ kN/mm}$ . Tuto hodnotu jsem zjistil z protokolu číslo ST2, který je přiložen v příloze.

Zátěžná síla po projetí vlaku je  $F_V = 125 \text{ kN}$

Síla od utažení svěrky ŽS4

Tuto sílu určím ze známého utahovacího momentu a svěrkového šroubu, který je v této svěrce použit.

Velikost utahovacího momentu je  $M_U = 200 \text{ Nm}$



*Obr.8.1 Šroub svěrkový M24*

tabulka 8.1 Technické svěrkového šroubu M24

	Stoupání závitu	Střední prům. závitu	Úhel profilu závitu	Součinitel tření na závitech	Součinitel tření pod maticí	Třecí prům. pod maticí
Označení	$P_h$ [mm]	$D_2$ [mm]	$\alpha$ [°]	$f_z$ [-]	$f_k$ [-]	$D_k$ [mm]
Šroub svěrkový M24	3	22,051	60	0,2	0,2	30,5

### Úhel stoupání závitu

$$\gamma = \arctg \frac{P_h}{\pi \cdot D_2}$$

$$\gamma = \arctg \frac{3}{\pi \cdot 22,051} = 2,48^\circ \quad (8.1)$$

### Třecí úhel

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$\varphi' = \arctg \frac{0,2}{\cos \frac{30}{2}} = 13,00^\circ \quad (8.2)$$

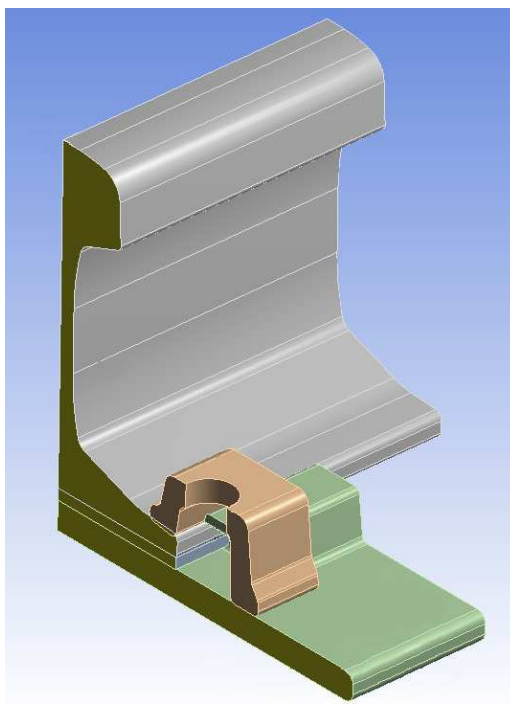
### Výpočet osově síly šroubu

$$F_o = \frac{M_U}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \cdot \frac{D_2}{2} + \frac{D_k}{2} \cdot f_k}$$

$$F_o = \frac{200000}{\operatorname{tg}(2,48 + 13) \cdot \frac{22,051}{2} + \frac{30,5}{2} \cdot 0,2} = 32768 \text{ N} \quad (8.3)$$

## 8.2 Zjednodušení výpočtového modelu a zavedení okrajových podmínek

Při zjednodušování výpočtového modelu jsem vycházel z toho, že model je souměrný podle dvou os. Díky tomu jsem mohl použít pouze čtvrtinový model. Výhodou toho modelu je menší náročnost na hardware počítače a také kratší doba výpočtu při zachování stejných výsledků.



*Obr.8.2 Zjednodušený výpočtový model*

Zadání okrajových podmínek je znázorněno na obr.8.3. Kde odkazy A – F znázorňují, jak a jaké okrajové podmínky byly použity.

Okrajové podmínky:

A ... znázorňuje vazbu, která simulující pružnou podložku R65 o tuhosti  $C_{S70/20} = 88,38 \text{ kN/mm}$

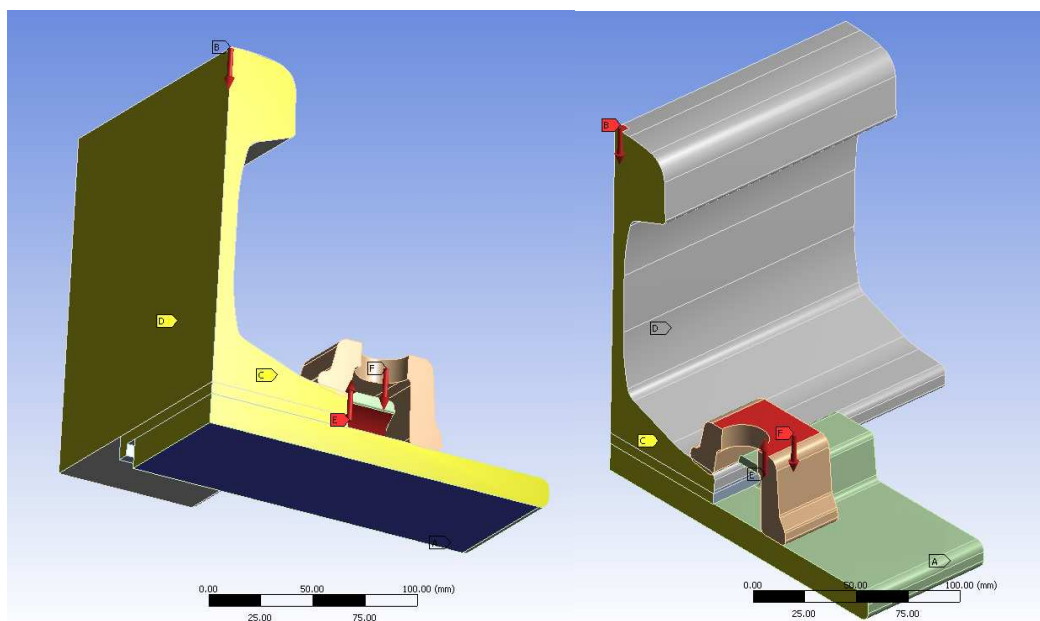
B ... síla vzniklá při průjezdu vlaku  $F_V = 125 \text{ kN}$ , v důsledku použití čtvrtinového modelu musím i toto síly 4krát zmenšit potom bude  $F_V = 31,25 \text{ kN}$

C, D ... tyto vazby simulují zbylou část upevnění

E, F ... síla vzniklá při utažení svěrkového šroubu dle předpisu, z důvodu že je ve výpočtovém modelu použita pouze poloviční svěrka musí být i tyto síly poloviční  $F_O = 16,384 \text{ kN}$

Dále byly použity kontaktní plochy, které simulují reálné působení mezi tělesy.





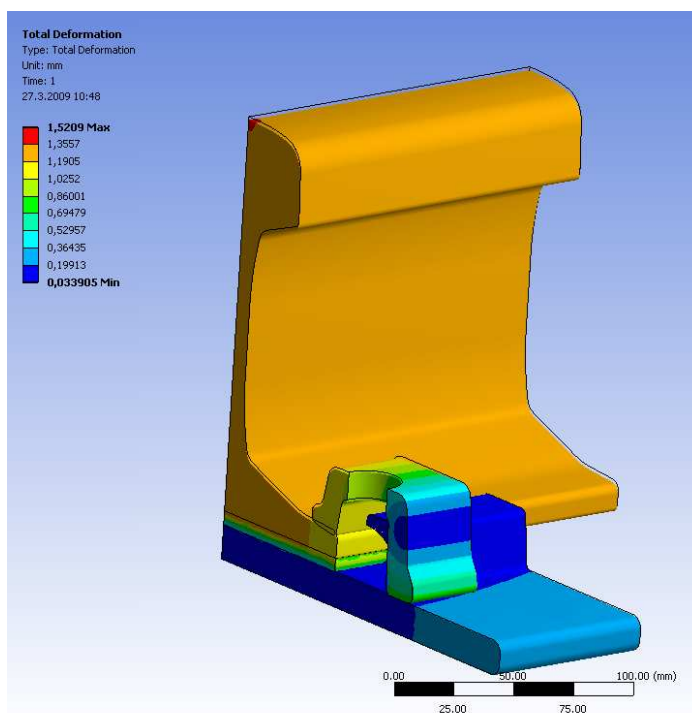
*Obr.8.3 Zavedené okrajové podmínky*

### 8.3 Výpočet a vypočtené výsledky

Výpočet jsem provedl v programu ANSYS Workbench.

#### Vypočítané výsledky

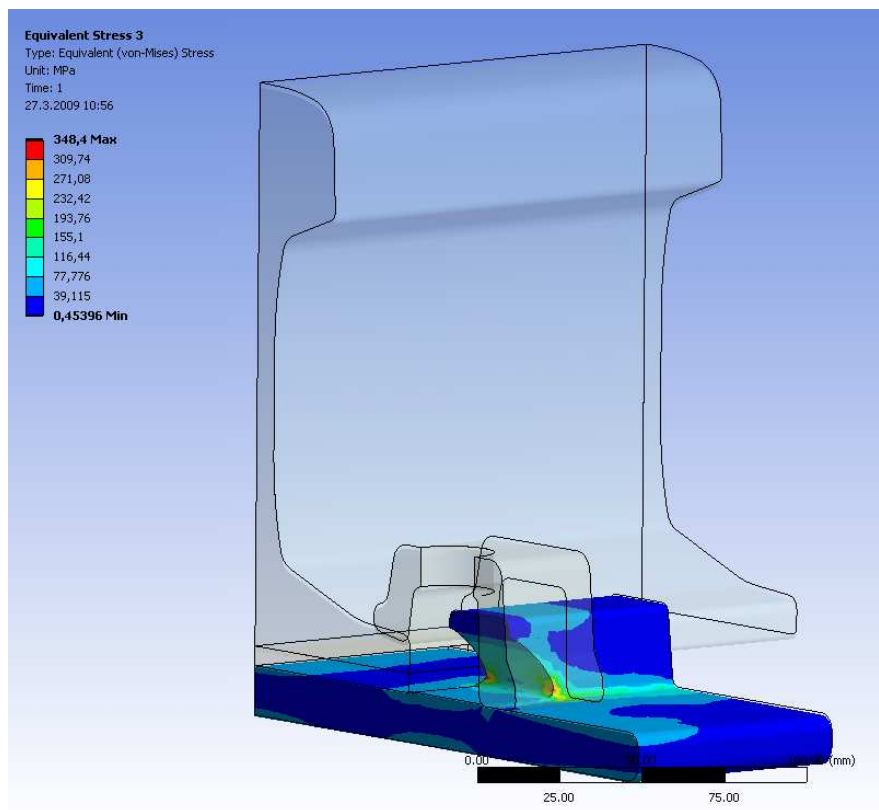
Deformace



*Obr.8.4 Deformace uzlu upevnění*

Z obr.8.4. je patrné, že podkladnice se deformuje velmi málo. I v nejkritičtějších místě tedy uprostřed je průhyb v rozmezí  $0,034 - 0,199 \text{ mm}$  což je zanedbatelné.

### Napětí



*Obr.8.5 Napětí v uzlu upevnění dle HMH*

Při výpočtu ekvivalentního napětí jsem použil hypotézu HMH. Z obrázku je patrné, že maximální napětí, které má velikost  $348,4 \text{ MPa}$  nemůžeme brát v úvahu. Velikost této napěťové špičky je způsobena zjednodušením výpočtového modelu. Při přesnějším zjišťování velikosti napětí v této oblasti došli bychom k závěru, že velikost napětí bude mnohem menší.

Místem, které mě nejvíce zajímá je uprostřed podkladnice a to z toho důvodu, že zde je místo, které se bude nejvíce namáhat na ohyb. Napětí v tomto místě je  $70 \text{ MPa}$  což je menší než mez únavy daného materiálu, která má hodnotu  $130 \text{ MPa}$ .

## 9. Závěr

Cíle této diplomové práce byly:

- provedení průzkumu používaných systémů upevnění
- provedení měření zvolených uzlů upevnění
- srovnání naměřených vlastností jednotlivých uzlů upevnění

Nejprve jsem se zabýval průzkumem používaných systémů a jejich popisem viz. *kap. 2*. Dále jsem provedl popis jednotlivých použitých součástí v měřených uzlech upevnění a popis nového konstrukčního řešení uzlu upevnění ve výhybce, který bude sloužit k upevnění srdcovky. Na konstrukci tohoto uzlu upevnění jsem spolupracoval s firmou DT Prostějov. Bližší popis uzlu upevnění PoPat je v kapitole 3.2.3.

Jako další cíl diplomové práce bylo provedení měření zvolených uzlů upevnění (viz. *kap.3.4*). Provedl jsem měření statické tuhosti uzlů upevnění a měření útlumu rázu uzlů upevnění. Popis průběhu a vyhodnocení naměřených údajů je blíže uveden v kapitolách 7 a 8.

Součástí práce je dále pevnostní výpočet části uzlu upevnění PoPat. Tento výpočet jsem provedl z důvodu zjištění chování uzlu při průjezdu vlaku.

## 10. Použitá literatura

- [1] ČSN EN 13146-3 (73635) „*Železniční aplikace – Trať – Metody zkoušení systému upevnění – Část 3: Stanovení útlumu rázového zatížení*“. 2003.
- [2] Folta, Z.: *Odporová tenzometrie* – Ostrava: Vysoká škola báňská – technická universita Ostrava, 2009.
- [3] HRUDIČKOVÁ, M.: *Disertační práce – Stanovení útlumu vlastností pryžových podložek při rázovém zatížení* – Ostrava: Vysoká škola báňská – technická universita Ostrava, 2007.
- [4] Dejl, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů* – Ostrava: MONTANEX a.s., 2000. ISBN 80-7225-018-3.0
- [5] Drastík, F. a kol.: *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu* – Ostrava: MONTANEX a.s., 2002. ISBN 80-85780-95-X.

### Seznam použitých internetových odkazů

- [6] webová stránka společnosti VOSSLOH dostupná na <http://www.vossloh-fastening-systems.de>
- [7] webová stránka společnosti PANDROL dostupná na <http://www.pandrol.com>
- [8] webová stránka společnosti EDILON)(SEDRA dostupná na <http://www.edilonsedra.com>

### Seznam použitých programů

- [9] National instruments, Inc.: *LabVIEW 7.1* [počítačový program pro měření].
- [10] Weisang GmbH & Co.KG.: *FlexPro*[počítačový program pro modelování].
- [11] ANSYS, Inc.: *Ansys Workbench* [počítačový program pro pevnostní výpočty].
- [12] Autodesk, Inc.: *Autodesk Inventor profesional 2008* [počítačový program pro modelování].
- [13] Autodesk, Inc.: *AutoCAD Mechanical 2008* [počítačový program pro vytváření výkresů].

## 11. Seznam příloh

### Sestavné výkresy:

Upevnění U60	DIP-A3-S1
Upevnění RePo	DIP-A3-S2
Upevnění PoPat	DIP-A3-S2

### Výrobní výkresy:

Upevnění U60	DIP-A3-S1
PODKLADNICE SVAŘENÁ	DIP-A3-V2
PODKLADNICE SVAŘENÁ SPODNÍ	DIP-A3-V3
PODKLADNICE U60 UPRAV.-310dl.	DIP-A3-V3

### Protokoly měření:

#### Útlum rázu

UT2R

UT6

UT11

UT12

UT19

UT20

#### Statická tuhost

ST1

ST2

ST3

ST4

ST5

ST9

ST18

ST26

Zbylé protokoly jsou umístěny na přiloženém CD.